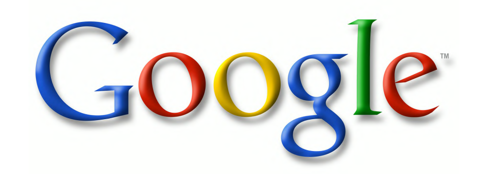
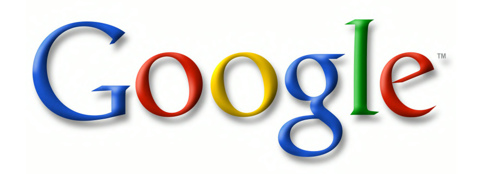
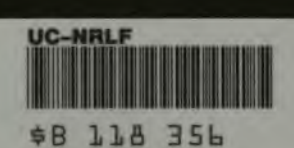
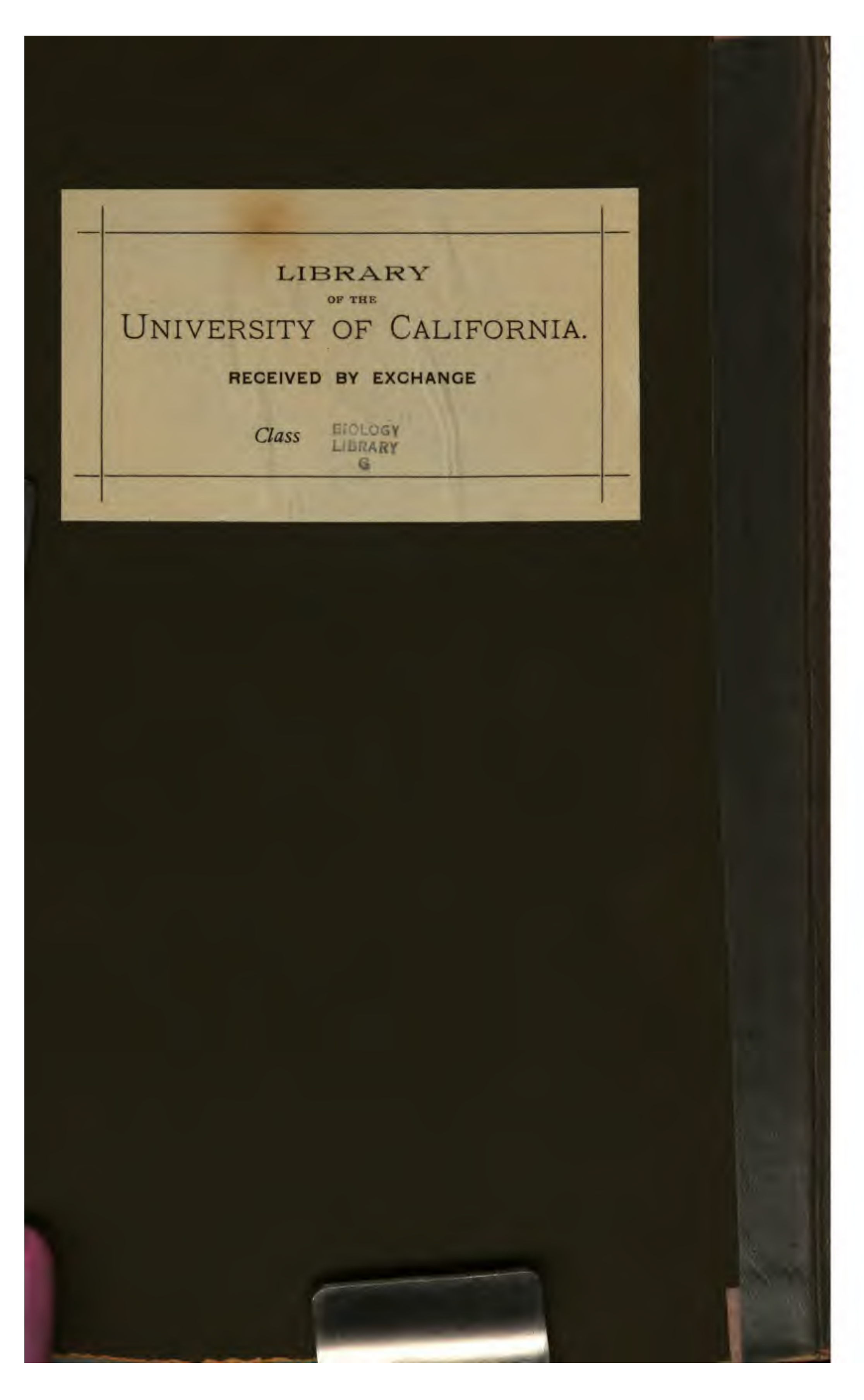






1904


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
RECEIVED BY EXCHANGE
Class
BIOLOGY
LIBRARY
G

1904

Die

Farbenempfindung der Netzhautperipherie

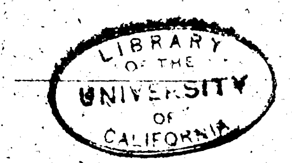
bei Dunkeladaptation und konstanter subjektiver Helligkeit.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der hohen philosophischen Fakultät der Universität Leipzig

eingereicht von

Wilhelm Peters aus Wien.



WIEN 1904.

Als Manuskript gedruckt.

Druck von F. Rollinger u. Moessmer & Schulda, Wien XII.

Angenommen von der philosophisch-historischen Sektion auf Grund der Gutachten der Herren Wundt und Wiener.

Der Procancellar:

Leipzig, den 3. Mai 1904. **Hölder** *m. p.*



Die hier mitgeteilten experimentellen Untersuchungen verfolgten ursprünglich das Ziel, die Farbenperzeption der dunkeladaptierten Netzhautperipherie bei Verwendung subjektiv-konstanter Helligkeiten zu bestimmen. Diese Bedingung brachte es jedoch mit sich, daß als Vorarbeit zur bezweckten Untersuchung auf die Helligkeitswerte der indirekten, im Verhältnis zur direkten Farbenwahrnehmung, sowie die Beziehungen zwischen den Helligkeiten und Farben eingegangen wurde. Hiebei ergaben sich neben schon bekannten eine Reihe neuer Tatsachen, die ebenfalls im folgenden mitgeteilt werden sollen. Demnach gliedert sich der Stoff dieser Arbeit in drei Teile, die die periphere Helligkeit der Farben, das Verhältnis des peripheren Farbentones zu dem foveal gesehenen und schließlich die Frage behandeln, ob und inwieweit Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den der peripheren Retina eigentümlichen Helligkeits- und Farbenperzeptionen bestehen.

Die Versuche wurden im Zeitraume von drei Semestern im psychologischen Institut der Universität Leipzig ausgeführt.

Die mitgeteilten Resultate beziehen sich in der überwiegenden Mehrheit auf das Auge des Referenten und das des Herrn Dr. A. Titoff. Als Beobachter oder Experimentatoren waren ferner die Herren J. C. Bell, Dr. Churchill, Dr. Kraft, Prof. Dr. Kršnjavi, Libby, Priv.-Doz. Dr. G. F. Lipps, Mitscherling, Dr. Szumann, Dr. Urban, Priv.-Doz. Dr. Wirth, Dr. Witwicki mir behilflich. Mit einigen der genannten Herren konnte ich ganze Versuchsreihen (etwa für eine Farbe in allen verwendeten Meridianen oder für mehrere Farben in einem Meridian) durchführen, die anderen konnte ich nur zur gelegentlichen Kontrolle der gewonnenen Resultate herbeiziehen.

Ich danke allen genannten Herren, insbesonders aber meinem Freunde Herrn Dr. Titoff, für ihre Ausdauer bei den langwierigen und anstrengenden Versuchen. Ferner fühle ich mich meinem hochverehrten Lehrer Herrn Geheimrat Wundt, der diese Arbeit angeregt hat, und den Assistenten des Institutes, den Herren Privat-Dozenten Dr. Wirth und Dr. Krueger, für manchen nützlichen Rat zu Dank verpflichtet.

I. Umfang, Anordnung und Methode der Untersuchung.

Die Versuche wurden mit vier Farben (rot, gelb, grün, blau) in vier Halbmeridianen ausgeführt. Es waren dies der temporale und nasale Horizontal-Meridian und der unterhalb und oberhalb der Stelle des deutlichsten Sehens gelegene Vertikal-Meridian. Da alle Beobachter, deren Beobachtungen hier mitgeteilt werden, sich des linken Auges bedienten, sollen die untersuchten Meridiane im folgenden als Rechts-, Links-, Oben- und Unten-Meridian bezeichnet werden.

Als Perimeter diente der schon von Hellpach verwendete und beschriebene Apparat.*) Als Vergleichsobjekt für die Helligkeitsbestimmungen wurde eine kreisrunde Milchglasplatte vom Radius 0,9 cm, die in der Mitte einen schwarzen Punkt, den Fixierpunkt, trug, verwendet. Sie befand sich in einem gleichgroßen Ausschnitt eines schwarzen hölzernen Kastens A und wurde von einer Mattglas-Glühlampe von 16 Kerzen Stärke, die in demselben Kasten eingeschlossen war, beleuchtet. Zwischen Glühlampe und Scheibe konnte ein Aubertsches Diaphragma mit variierbarer Spaltbreite eingeschoben werden. Fig. 1 gibt eine Skizze dieser Anordnung.

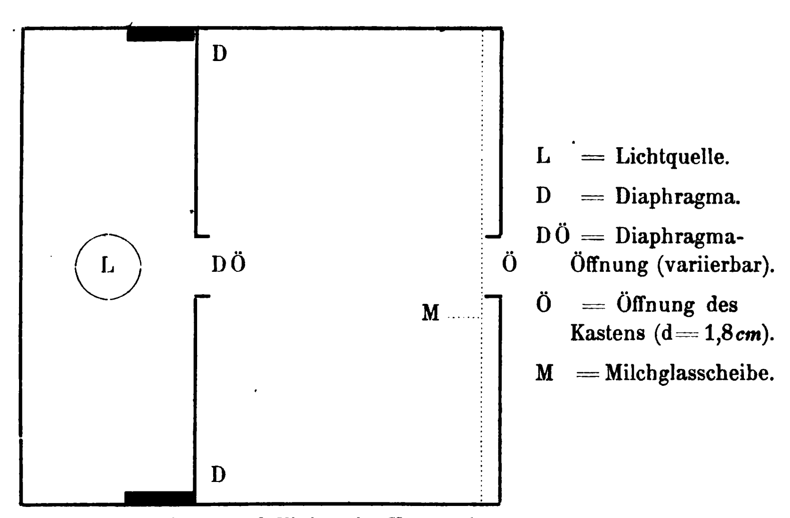


Fig. 1. Vergleichs- und Fixierreiz. Kasten A.

Um das gelblich-rötliche Licht der Glühlampe möglichst farblos erscheinen zu lassen, wurde die Milchglasplatte mit einem Blättchen blauen Gelatinepapiers bedeckt.

---

*) Philosophische Studien, Band 15, Seite 526/7. Auch beschrieben bei Wundt, Physiologische Psychologie, II[5], Seite 183.

Anfänglich wurde, nachdem die relativen Helligkeitswerte der Peripherie ermittelt worden waren, zur Untersuchung der Farbenwahrnehmung die Milchglasplatte durch ein Blatt schwarzen Kartons ersetzt, das durch eine nadelstichfeine Öffnung das Fixierlicht hindurchließ.

Da aber bei fortschreitender Einübung der Beobachter leicht zu gleicher Zeit über periphere Helligkeit und Farbe urteilte, konnte von dieser veränderten Anordnung später Abstand genommen werden, nachdem festgestellt worden war, daß die auf beiden Wegen gewonnenen Resultate sich nicht unterschieden. Zur Darbietung des peripheren Reizes diente die von Hellpach benutzte 35 Kerzen starke Glühlampe. Vor dem kreisrunden Ausschnitt (r = 0,9 cm) des Kästchens B, das sie barg, wurde eine Mattglasplatte eingeschoben, um die farbig erleuchtete Fläche homogen erscheinen zu lassen. Um die Helligkeit dieser Fläche variieren zu können, wurde am Perimeterbügel zusammen mit der Reizlampe in B ein kleiner, durch Akkumulatoren gespeister Elektromotor verschoben, dessen rotierende Achse die Aubertschen Episkotistersektoren trug.

Die Untersuchung sollte mit spektralreinen Farben durchgeführt werden. Hiezu bediente ich mich der von Kirschmann*) angegebenen Methode der Herstellung spektralreinen Lichtes durch Kombination verschiedenfarbiger Gelatineblättchen. Um das wenige Rot, das von diesen Kombinationen gewöhnlich noch durchgelassen wird, ebenfalls durch Absorption zu entfernen, verwendete ich grüne Gläser in verschiedenen Nuancen.

Die spektroskopische Untersuchung der verwendeten Farbenkombinationen ergab das folgende Resultat:

Tabelle 1.

Farbe	Durchgelassen bei			Dem entspricht eine mittlere Wellenlänge
	enger	mittlerer	weiter	
	Spaltöffnung			
Rot		32—36		668 μμ
Gelb **)	49		49—51	590 μμ
Grün		66—74		531 μμ
Blau			95—110	468 μμ

Die Skala im Spektroskop entsprach der Bunsen-Kirchhoffschen, in der das Rot ungefähr bis zum Teilstrich 48, das Gelb bis zum Teilstrich 52, das Grün bis 80, das Blau bis 120 reicht.

*) Philos. Stud., Band 6, Seite 543 ff.

**) Das Gelb wurde nach Angaben Dr. Wirths kombiniert. Vgl. Philos. Stud. XVIII, Seite 581.

Um die Helligkeit der verwendeten Farben im **direkten** Sehen bestimmen zu können, wurde eine Helligkeitseinheit willkürlich festgesetzt. Als unterste Helligkeitsstufe wurde hiebei die Helligkeit der farblosen Vergleichs- und Fixierscheibe bei einer Diaphragmaöffnung von 1 cm^2 gewählt. Die Helligkeit der betreffenden Farbe wurde dann durch Episkotisterverdunklung so lange variiert, bis sie dieser Vergleichshelligkeit 1 gleich erschien. Die hiezu nötige Verdunklung ist in der zweiten Vertikalreihe der Tabelle 2 angegeben. Die dritte Vertikalreihe gibt die entsprechende Öffnung an, die die Sektoren unausgefüllt lassen, die vierte die Helligkeit in Vielfachen der erwähnten Einheit.

Tabelle 2.

Farbe	Zur Gleichheit erforderliche Verdunklung	Entsprechende Episkotisteröffnung	Helligkeit in Vielfachen der Einheit
Rot	340°	20°	18
Gelb	230°	130°	3
Grün	290°	70°	5
Blau	100°	260°	1,4

Alle Versuche wurden bei Dunkel-Adaptation angestellt. Vor Beginn derselben mußte der betreffende Beobachter mindestens 10 Minuten lang adaptieren. Zwischen je zwei Versuchen wurde dann eine zweite Adaptationszeit von 3 Minuten eingeschaltet. Während dieser Zeit zog der Beobachter eine schwarze Kapuze über das beobachtende Auge (das andere war konstant mit einer Blende in Kugelschalenform verdeckt) und ermöglichte es so dem Experimentator, bei Beleuchtung eines 4 Volt-Glühlämpchens Ablesungen zu machen und die Vorbereitungen zu dem nächsten Versuch zu treffen. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß der Beobachter auf ein gegebenes Signal die Kapuze vom Kopfe zog. Ein zweites Signal kündigte ihm an, daß die Fixierscheibe erleuchtet werde. Eine halbe oder ganze Sekunde später (je nach dem Grad der Einübung im Fixieren) wurde der Reiz an der Peripherie geboten. Die verstrichene Zeit konnte der Experimentator aus den Schlägen eines Metronoms erkennen. Die besprochene sukzessive Reizdarbietung (zuerst: Vergleichs- und Fixierreiz, dann: peripherer) hatte sich der simultanen gegenüber als vorteilhafter und zuverlässiger erwiesen, da bei der letzteren das Auge, das erst nach dem Einstellungspunkt sucht, zu häufig zur Seite nach der (im zentralen Sehen) intensiv gefärbten Lichtquelle abweicht.

Es muß jedoch erwähnt werden, daß die simultane Reizdarbietung in den Fällen nicht vermieden werden konnte, in denen der Verfasser

selbst zu gleicher Zeit Beobachter und Experimentator war. Hierbei wurde versucht, den erwähnten Fehler dadurch zu vermeiden, daß der Blickpunkt von der dem untersuchten Meridian entgegengesetzten Seite langsam und ruckweise an die Fixierscheibe heranrückte. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate unterscheiden sich nicht von denen, die unter Mitwirkung eines Gehilfen erzielt wurden. Bei den zuletzt beschriebenen Versuchen mußten aber natürlich alle dem Experimentator zufallenden Verrichtungen im Dunkeln ausgeführt werden, was nach einiger Übung vollständig gelang.

Die von Hellpach für die Exposition des peripheren Reizes verwendete Zeit von drei Sekunden erwies sich (insbesondere für die Helligkeitsvergleichung) als zu lang. Die Nachteile liegen darin, daß zunächst die Helligkeit der betreffenden Farbe (soweit sie überhaupt noch als Farbe gesehen wird) innerhalb dieses Zeitraumes eine deutliche Veränderung erfährt, dann aber die farbige Wahrnehmung der raschen Ermüdbarkeit der Peripherie wegen an Sättigung immer mehr verliert. In unseren Versuchen wurde daher der periphere Reiz in der Regel nicht länger als eine Sekunde geboten. Auch während dieser Zeit konnten geübte Beobachter konstant, weniger geübte gelegentlich, zwei Phasen der Empfindung deutlich erkennen, die indessen nicht voneinander isoliert werden konnten. Im „ersten Aufblitzen“ der seitlichen Empfindung, das ist also in einem Bruchteil der verwendeten Zeit, war ein deutliches Helligkeitsmaximum, das von einem Minimum der Farbenempfindung und verhältnismäßig ungenauer räumlicher Wahrnehmung begleitet war, zu beobachten. Erst im nächsten Zeitteilchen stellte sich ein räumlich bestimmterer Eindruck von bestimmterer Helligkeit und Farbe ein. Es braucht nicht hervorgehoben zu werden, daß dieser Eigenschaften wegen lediglich diese zweite Phase zur Ermittlung der peripheren Helligkeits- und Farbenwerte verwendet wurde. Die bei der Helligkeitsbestimmung verwendete psychophysische Methode war einigermaßen der der Minimaländerungen analog. Doch wurde, da es sich lediglich um die Feststellung von Gleichheitsstufen, nicht von ebenmerklichen Unterschieden handelte, von vornherein von dem gewöhnlichen Verfahren dieser Methode*) insofern abgewichen, als nicht von unmerklichen Empfindungsunterschieden durch eben merkliche zu übermerklichen und zurück, sondern von übermerklichen Unterschieden ausgegangen wurde, um den Beobachtern die Bestimmung der Helligkeit bei der unvermeidlichen qualitativen Verschiedenheit möglichst leicht zu machen. Im Fortgang der Versuche konnte aber auch dieses Verfahren nicht mehr streng befolgt werden, da nach jedem Einzelversuch die Adaptationszeit eingehalten werden mußte, und die Versuche für denselben Beobachter nicht über die Zeit einer Stunde ausgedehnt werden durften. Der Experimentator war deshalb im weiteren Verlauf der Untersuchung bemüht, die Einstellung der Helligkeitsgleichheit bei einer möglichst kleinen Zahl von Versuchen zu erreichen. Urteilte also der Beobachter bei

*) Vgl. die Darstellung bei Wundt, l. c. I[5], Seite 476.

der ersten Einstellung „etwas dunkler“ oder „etwas heller“ (diese Bezeichnungen bezogen sich stets auf die seitliche Wahrnehmung), dann wurde, um das Durchlaufen der Stufen der ebenmerklichen Verschiedenheit zu ersparen, eine Einstellung gemacht, die ungefähr um gleich viel jedesmal nach der entgegengesetzten Seite von der Vergleichsempfindung abwich. Innerhalb der so gewonnenen Grenzen der ebenmerklich oder auch übermerklich verschiedenen Empfindungen gelang es dann leicht, eine einigermaßen sichere Gleichheitseinstellung zu erlangen.

Auch zur Bestimmung der peripheren Farbenschwellen wurde, wie dies schon Hellpach*) tat, ein der Methode der Minimaländerungen analoges Verfahren angewendet. Hiebei, wie überhaupt bei der Untersuchung der peripheren Farbenempfindung, kam ausschließlich das zentripetale Vorrücken des peripheren Reizes zur Anwendung. Das zentrifugale erwies sich aus ähnlichen Gründen wie bei A. E. Fick**) und Hellpach***) mangelhaft. Zunächst zeigte es noch Farbenempfindung an Stellen, an denen sie das zentripetale Verfahren nicht mehr aufwies. Dann aber ließ es Eindrücke farblos erscheinen, die beim entgegengesetzt gerichteten Vorrücken deutlich farbig, wenn auch von der zentral gesehenen Farbe qualitativ verschieden waren. Ob diese letztere Erscheinung durch Kontrast zu erklären ist, oder ob es sich lediglich um eine Ermüdungserscheinung handelt, kommt hier nicht weiter in Betracht.

Die Fehlerquellen, die bei der Verwertung von Beobachtungen über die Helligkeits- und Farbenempfindung der Netzhautperipherie in Betracht gezogen werden müssen, sind schon so oft hervorgehoben worden, daß eine ausführliche Darlegung derselben an dieser Stelle mir unnötig erscheint.

Hieher gehört vor allem die aus der Unsicherheit der Fixation eines in die Fovea fallenden Reizes bei gleichzeitiger Reizung einer peripheren Netzhautstelle entspringende Fehlerquelle. Dagegen fallen die Schwierigkeiten der heterochromen Helligkeitsvergleichung bei der Untersuchung der Farbenwahrnehmung der Peripherie deshalb nicht so sehr ins Gewicht, da es sich hier fast durchaus um sehr wenig gesättigte Farbenempfindungen handelt, die der farblosen Vergleichsempfindung jedenfalls ähnlicher sind als farbig gesättigte. Einen höheren Sättigungsgrad hatte lediglich das Rot in der parazentralen Zone†) des horizontalen Meridians. — Die bedeutendste Fehlerquelle für die Helligkeitsvergleichung scheint mir aber in der Undeutlichkeit der räumlichen Bilder in der Netzhautperipherie zu liegen. Je weiter der Eindruck zur Seite rückt, desto unbestimmter werden die Konturen der beleuchteten Fläche.††) Diese

---

*) Hellpach, l. c. Seite 533.

**) A. E. Fick, Pflügers Archiv, Band 43, Seite 480.

***) Hellpach, l. c. Seite 533.

†) So sollen mit von Kries die der Fovea zunächst gelegenen Netzhautpartien genannt werden.

††) Schon Aubert (Physiologie der Netzhaut, Seite 94) sagt, man sei geneigt, „ein Object, welches scharf umgrenzt erscheint, für heller zu halten, als wenn es verwaschen erscheint; dadurch ist das Centrum immer im Vorteil gegen die Peripherie“.

geht allmählich in einen strahlenden Punkt und schließlich in einen nur noch ungefähr lokalisierbaren „Lichtschein" über. Bedenkt man nun, welch einen wichtigen Bestandteil unserer Gesichtswahrnehmungen die räumliche Bestimmtheit derselben bildet, so erkennt man leicht die Unsicherheit der hier in Betracht kommenden Vergleichung.

Als dritte Fehlerquelle mag endlich noch der Mangel einer exakten sprachlichen Bezeichnung für die verschiedenen Nuancen und Sättigungsgrade hervorgehoben werden.

Ferner ist bei Verwertung der im folgenden mitgeteilten Resultate für die Helligkeitsbestimmung der Farben in der Peripherie in Betracht zu ziehen, daß in allen den Fällen, in denen eine Farbe durch die periphere Verrückung eine Qualitätsänderung erfahren hat, in unseren Versuchen auch nicht mehr die subjektive Helligkeit der **ursprünglich** gesehenen Farbe vorhanden ist. Ähnliche Farbtonverschiebungen können, wie schon mehrfach beobachtet wurde,*) auch an ein und derselben Netzhautstelle durch Variierung der Intensität (in unseren Versuchen durch die Veränderung der Episkotisteröffnung) hervorgerufen werden. Diese Erscheinung kam jedoch nur selten in der Peripherie zur Beobachtung. Nur gelegentlich sagten einzelne Beobachter „orange" aus, nachdem sie vorher bei größerer Helligkeit denselben Reiz „gelblich" genannt hatten und umgekehrt. Eine andere Beobachtung, der gelegentliche Wechsel eines sehr wenig gesättigten Gelb mit einem ebensolchen Blau an ein und derselben Stelle bei Helligkeitsherabsetzung dürfte wohl als Nachbilderscheinung aufzufassen sein, da sie bei genauerer, eigens hiezu angestellter Untersuchung, bei Ausschaltung aller Nachwirkungsmöglichkeiten, nicht mehr auftrat.

Die Ausgleichung der Helligkeit bedingte weiterhin, daß die Farben an den einzelnen Stellen der peripheren Netzhaut in veränderter Sättigung wirkten. Entspricht nämlich dem von dem Gelatinefilter hindurchgelassenen Licht das Optimum der spektralen Sättigung, so wird bei Herabsetzung der Lichtintensität durch den Episkotister die Sättigung unter dieses Optimum herabsinken. Da nun an den einzelnen Peripherieteilen verschieden große Episkotistersektoren zur Ausgleichung der Helligkeit verwendet wurden, war die Abweichung von diesem Optimum eine verschiedene. Um den Einfluß, den die Intensitätsänderung und die durch sie bedingte Änderung der Sättigung auf die Farbenperzeption der Peripherie ausübt, kennen zu lernen, wurden neben der ursprünglich gebrauchten Vergleichshelligkeit (= 1) die fünffache und zweieinhalbfache verwendet. Dabei wurden mit der ersteren die vier Meridiane mit den vier Farben systematisch von neuem durchgeprüft, die andere aber nur in einzelnen Fällen verwendet. So konnten Farben, die bei der Vergleichshelligkeit 1 durch die große Episkotister-Abdunklung nur in geringer Sättigung wirkten, nunmehr bei bedeutend größerer untersucht werden. Über das Resultat dieser Versuche wird im folgenden berichtet werden.

*) Wundt, l. c. II[5], Seite 161; Hering, Über Newtons Gesetz der Farbenmischung, Lotos, Prag 1887, Seite 228.

Im Hinblick auf die verschiedene Intensitäts- und Sättigungsänderung an verschiedenen Stellen der Peripherie fragt es sich, ob nicht eine andere Methode der verwendeten gegenüber den Vorzug verdienen würde. In der Literatur über diesen Gegenstand findet sich nur eine, die vielleicht durch entsprechende Modifikationen hier nutzbar gemacht werden könnte. Es ist dies die von Carl Hess zur Bestimmung der peripheren Farbenwahrnehmung bei Hell-Adaptation verwendete.*) Sie besteht darin, daß der farbige Reiz auf gleichheller farbloser Unterlage dargeboten wird. Damit wird zweierlei erreicht: 1. Wird der simultane Helligkeitskontrast zwischen der farbigen Fläche und der farblosen Umgebung derselben vermieden, 2. wird an Stellen, an denen der Reiz farblos erscheint, dessen absolute Farblosigkeit durch das Verschwinden in der gleich hellen Unterlage erwiesen. Bei Verwendung dieser Methode bei Dunkel-Adaptation müßte die farblose Grundfläche breit genug gemacht werden, damit ein möglichst großes Netzhaut-Areal von der Reizung getroffen wird. Dadurch wäre die Möglichkeit eines neuerlichen Simultankontrastes zwischen dem hellen Grund und der dunklen Umgebung desselben auf ein Minimum reduziert. Andererseits müßten durch diese Methode bedingte Adaptationsstörungen, soweit dies überhaupt möglich ist, durch längere Neu-Adaptierung zwischen den einzelnen Versuchen behoben werden. Nun könnte etwa die Helligkeit der grauen Unterlage für die einzelnen Netzhautstellen durch Vergleich mit einer gleichzeitig direkt gesehenen farblosen Helligkeit, wobei die durch die Heterochromie bedingte Fehlerquelle entfiele, dann aber die Helligkeit der Farbe an der Peripherie durch Variation der Helligkeit der Unterlage ermittelt werden; (hiebei werden nur durch periphere Netzhautteile ausgelöste Empfindungen miteinander verglichen, wird also die durch die undeutliche Raumauffassung der Peripherie im Vergleich zur zentralen bedingte Fehlerquelle vermieden). Versuche dieser Art, die ich mit Dr. Titoff angestellt habe, erwiesen jedoch die Unbrauchbarkeit dieser modifizierten Hessschen Methode wenigstens in der von mir verwendeten Form. Es wurde nämlich auf einer weißen Milchglasscheibe von ca. 10 cm² das eine Mal eine rote Kreisfläche von der sonst verwendeten Größe beleuchtet. Später trat an die Stelle dieses Rot eine blaue Fläche in der Form eines Kreissegments. Die Helligkeitsausgleichung konnte für die farblose Grundfläche durch Einfügung ausgeschlagener, nur wenig Licht durchlassender Papiere in verschiedener Zahl, für den farbigen Teil in der zweiten Anordnung noch außerdem mit entsprechend ausgeschnittenen Episkotistern durchgeführt werden.

Das Ergebnis war nun, daß der Beobachter in den meisten Fällen, auch bei Verringerung der Entfernung und Vergrößerung des Gesichtswinkels, in sonst farbentüchtigen parazentralen Regionen nur eine homogene Fläche wahrnehmen konnte. Erklären läßt sich diese Tatsache wohl durch die herabgesetzte U. E. des dunkeladaptierten Auges. Jedenfalls erwies

*) Hess, Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXXV, 4, Seite 25 ff.

sich damit das erste der von Hess*) und später von v. Kries**) und A. Tschermak***) formulierten Prinzipien für die Untersuchung der Farbenwahrnehmung der Netzhautperipherie bei Dunkel-Adaptation als unanwendbar. Die zweite von Hess und Tschermak formulierte Bedingung: „Gleichheit der Weißvalenz“ wurde in diesen Versuchen, sofern man für die Peripherie „Weißvalenz“ und Helligkeit als fast nicht von einander verschieden betrachten darf,†) in weiterem Umfang eingehalten als von den genannten Autoren. Denn es wurde in diesen Versuchen nicht, wie Hess es tat, Helligkeitsgleichheit für die einzelnen Farben an jeder untersuchten Netzhautstelle eingestellt, wobei die Helligkeit an verschiedenen Stellen verschieden blieb, sondern ausschließlich eine einheitliche Helligkeit für sämtliche Stellen und Meridiane eingehalten. Die dritte der Hessschen Bedingungen, die gleichgroße „farbige Valenz“ für je zwei Komplementärfarben, scheint mir schon deshalb von geringer Bedeutung zu sein, da es sich hier um die Verwendung eines nur für eine bestimmte Stelle giltigen, insofern also willkürlichen Sättigungsverhältnisses für **alle** untersuchten Stellen handelt.

Die Bedingungen dieser Versuche waren, wie bereits dargelegt, spektralreine Farben, Dunkel-Adaptation und gleiche subjektive Helligkeit. Die beiden ersten wurden schon in der Arbeit Hellpachs konsequent eingehalten; nebenbei wurden sie auch schon von Hess††) und Kirschmann†††) berücksichtigt. Die eine dieser Bedingungen, von der anderen gesondert, kam außerdem bei v. Kries und Tschermak zur Anwendung; auf die Wichtigkeit, diese Bedingungen neben den in neuerer Zeit üblichen festzuhalten, wurde bisher nicht hingewiesen. Gleichwohl ist es gerade jetzt, da von einer Seite die Erscheinungen der Dunkel-Adaptation auf einen in seiner Funktionsweise toto genere verschiedenen Apparat zurückgeführt werden, naheliegend, die Frage der Farbenperzeption der Netzhautperipherie unter diesen Bedingungen zu untersuchen. Die subjektive Gleichheit der Helligkeit endlich hat bei der Untersuchung neben dem vorhin erwähnten Vorzug noch den, daß sie auch alle **Farben** auf eine einheitliche Helligkeit reduziert.

---

*) Hess, l. c. Seite 60 f.

**) v. Kries, Zeitschr. f Psych. u. Phys., Seite 559 ff.

***) Tschermak, Pflügers Archiv, Band 82, Seite 578 f.

†) Definiert man im Sinne der Heringschen Ausführungen die Helligkeit einer Farbe als Weißvalenz + spezifische Helligkeit (ohne Rücksicht auf das Vorzeichen derselben) und nimmt man an, daß die spezifische Helligkeit sich mit der Änderung der Sättigung ändert, so werden in Anbetracht der geringen Sättigung der Farben in der Peripherie die Differenzen kaum größer sein, als der mittlere Fehler in der heterochromen Helligkeitsvergleichung.

††) Hess, l. c. Seite 17 ff.

†††) Kirschmann, Philos. Stud., Band 8, Seite 598 f.

II. Die Helligkeit der Farben in der Peripherie.

In der beigegebenen Kurventafel stellen die Kurven die Änderungen der Helligkeit der vier untersuchten Farben in der Peripherie dar. Hiebei sind die Kurven für den Links-Meridian ausgezogen (——————), die für den Rechts-Meridian unterbrochen (— — — —), die für den Unten-Meridian punktiert (. . . . .) und die für den Oben-Meridian mit diesen Zeichen (— o — o —) bezeichnet.

Die Abszissen des Koordinatennetzes stellen die Entfernungen von der Stelle des deutlichsten Sehens von 10 zu 10 Graden vor. Da der Versuchsmethode entsprechend immer von der äußersten Grenze des Gesichtsfeldes, das ist von 85°, 65°, 55°, ausgegangen wurde, mußte, um zu 0° zu gelangen, eine Abszisse $\frac{x}{2} = 5°$ eingestellt werden. Die Ordinaten drücken die Helligkeit in Graden der Episkotisteröffnung aus. Es entspricht also der Nullpunkt der Ordinaten der maximalen Helligkeit, der mit 360 bezeichnete der minimalen.

Fig. 1 bis Fig. 6 stellen die Helligkeitskurven für die Vergleichshelligkeit 1, Fig. 8 bis Fig. 11 die für die Vergleichshelligkeit 5, und Fig. 7 die für die Vergleichshelligkeit 2,5 dar. Die Kurvenbeispiele Fig. 1 und 2, sowie 8, beziehen sich auf die Helligkeit des **Rot in der** Peripherie. Die Lücke in der Kurve für den Links-Meridian (zwischen 10° und 25°) entspricht der Lage des blinden Flecks. Die der Fovea zunächst gelegenen peripheren Stellen (bis 10°) weisen in allen Fällen eine deutliche Helligkeitsabnahme auf. Sie hat numerisch wohl für den Links-Meridian den geringsten Wert, nimmt aber im weiteren Verlauf der Kurve zu, so daß die Vertikal-Meridiane in dieser Region (man vergleiche Fig. 1 und Fig. 2) bei weitem die helleren sind.

Zwischen 10° und 15° zeigen nun die Kurven für die Vertikal-Meridiane eine deutliche Tendenz zur Rückkehr nach der Ausgangshelligkeit, die an einzelnen Stellen erreicht oder um weniges überschritten wird. Eine solche Änderung kann im Links-Meridian nicht festgestellt werden, hier nimmt die Helligkeit konstant ab, bis sie schließlich an der äußeren Peripherie ein Minimum erreicht hat, das sie nunmehr bis zur Gesichtsfeldgrenze einhält.

Hiezu muß bemerkt werden, daß die Helligkeitsbestimmungen am äußersten Rand des Gesichtsfeldes, namentlich im Links-Meridian, infolge der erwähnten Mängel der räumlichen Wahrnehmung sehr wenig sicher sind. Die geringsten Helligkeitswerte für den Links-Meridian schwanken in den mitgeteilten Beispielen zwischen $^1/_6$ und $^1/_9$ der Ausgangshelligkeit. Weniger deutlich ist die Änderungstendenz im Rechts-Meridian. Während sie in Fig. 8 eine Analogie zu der im Links-Meridian bietet, steht sie in Fig. 1 und 2 in ihrem Verlauf zwischen dem Vertikal-Meridian und dem Links-Meridian: die Kurve zeigt entweder Helligkeitszunahme oder sehr

geringfügige Abnahme. Alle zur Kontrolle dieser Ergebnisse angestellten Versuche liegen zwischen diesen beiden Extremen. Die maximale Dunkelheit (minimale Helligkeit) in dieser mittleren und äußeren Peripherie beträgt 1/2 bis 1/4 der Ausgangshelligkeit.

Man achte hiebei auf die Unterschiede, die die Kurven bei veränderten Vergleichshelligkeiten bieten, die später ausführlicher besprochen werden sollen. So wird vor allem die Stelle der Helligkeitszunahme in den Vertikal-Meridianen peripheriewärts verschoben. Die Kurve für den Oben-Meridian nähert sich den Kurven der Horizontal-Meridiane, der Unten-Meridian ist nunmehr weitaus der hellste. Bemerkenswert ist hier ferner, daß der Oben-Meridian schon innerhalb der parazentralen Zone sein Minimum der Helligkeit erreicht, und erst viel seitlicher vom Links-Meridian eingeholt wird.

Vergleicht man die Resultate der peripheren Wahrnehmung des **Gelb** für die Zone zwischen 0° und 15° (Fig. 3) der Beobachter I und II mit denen eines Beobachters III (siehe die folgenden Tabellen), so fällt auf, daß die Kurven dieses dritten Beobachters deutliche Helligkeitszunahme aufweisen, während die anderen beiden einen Wechsel zwischen Helligkeitsabnahme und Zunahme zeigen, wobei die erstere, vorwiegend den Kurven größerer Sättigung zugehörig, zu überwiegen scheint. Diese Beobachtung steht nun zweifellos in Beziehung zu einer andern, die im nächsten Abschnitt erörtert werden soll, und die man dahin präzisieren kann, daß die Farbenwahrnehmung der Peripherie für einzelne Beobachter (dieselben, denen die bezeichneten Kurven angehören) nach dem roten Ende des Spektrums hin verschoben erscheint. Durch diese Verschiebung der Gelbwahrnehmung ins Rötliche an der Grenze der Fovea würde diese Annäherung der Gelbkurven an die des Rot begreiflich erscheinen. Im allgemeinen ist also zu sagen, daß der Helligkeitswert des Gelb in der Zone zwischen 0° und 10° bis 15° zwischen Werten schwankt, die einer Abnahme, und solchen, die einer Zunahme der Ausgangshelligkeit entsprechen. In der mittleren Peripherie kommen dann keine weiteren Helligkeitsverminderungen vor. Das Gelb erfährt hier eine deutliche Helligkeitszunahme.

Bei der Vergleichshelligkeit 1 hat diese Zunahme in den erwähnten Fällen schon in der parazentralen Zone eingesetzt. Bei der größeren Vergleichshelligkeit wird dann entsprechend dem analogen Verhältnis im Rot diese Zone der größeren Helligkeitssteigerung mehr nach der Mitte der Peripherie verrückt. In ihrem Verlauf im mittleren und äußeren Teil des Gesichtsfeldes verhalten sich die Gelbkurven durchaus ähnlich. Sie alle weisen, nachdem sie ein gewisses Maximum an Helligkeit erreicht haben, konstanten Weiterverlauf (bezw. Helligkeitsabnahme am Ende dieses Verlaufes) auf. Diese letzterwähnte Helligkeitsabnahme tritt nun wieder am deutlichsten und regelmäßigsten im Links-Meridian (mit einer einzigen Ausnahme) ein, sie ist weniger deutlich im Rechts-

Meridian und fast nicht im Vertikal-Meridian zu beobachten. Hiebei sei daran erinnert, daß der Links-Meridian das am weitesten ausgedehnte Gesichtsfeld aufweist. Bei Verwendung der Vergleichshelligkeit 5 war die Farbe im direkten Sehen dunkler als die Vergleichsscheibe. Um zur Helligkeitsgleichheit zu gelangen, mußte die Diaphragmaöffnung im Kasten A auf die Hälfte reduziert werden. Bei fünffacher Vergleichshelligkeit hätte also, damit im direkten Sehen Helligkeitsgleichheit eingestellt werden könnte, das Gelb in seiner Helligkeit verdoppelt werden müssen. Diese große Ausgangshelligkeit macht es verständlich, daß es unmöglich war, die entsprechenden Kurven weiter als bis zu der in Fig. 9 angegebenen Grenze (Episkotisteröffnung = 360°) zu verfolgen. Die maximale Helligkeit des Gelb schwankt im Links-Meridian zwischen den Werten 2 und 3,5, im Rechts-Meridian zwischen 1, 5 und 3, im Unten-Meridian zwischen 2, 5 und 6,5, (in einem Fall ist sie sogar 1,5), im Oben-Meridian zwischen 2,6 und 6,5 der Ausgangshelligkeit. Das **Grün** weist ähnlich wie das Gelb bis zu 10° seitlich von der Stelle des deutlichsten Sehens nur bei fünffacher Vergleichshelligkeit (also vergrößerter Sättigung) deutliche Änderungstendenz, Zunahme der Helligkeit, auf. Bei einfacher Vergleichshelligkeit kommen neben Fällen geringer Zunahme solche mit konstanter Helligkeit und solche mit geringer Abnahme vor. In ihrem weiteren Verlauf stehen die Kurven bei dieser Vergleichshelligkeit der Ausgangshelligkeit näher, als dies bei anderen Farben der Fall ist. Bei erhöhter Sättigung tritt, nachdem innerhalb der mittleren Peripherie das Maximum der Helligkeit erreicht wurde, die Helligkeitsabnahme in größerem oder geringerem Maße ein. Bei Betrachtung der Kurven ist zu beachten, daß in dem der Abszissenachse näher liegenden Teil der Kurven kleine (in der Zeichnung weniger deutliche) Helligkeitsänderungen der Relativität der Schwellenlage wegen ebenso weit oder weiter von der Unterschiedsschwelle entfernt sind, als größere Änderungen, die in den oberen Teil des Koordinatennetzes fallen. Der Links-Meridian zeigt die geringste Helligkeitsvariation im mittleren Teil der Kurve, dagegen deutliche Helligkeitsabnahme am äußeren Rande des Gesichtsfeldes. Deutliche Helligkeitszunahme noch in der parazentralen Zone weisen die übrigen Meridiane auf; die Helligkeitsabnahme, die der Zunahme folgt, tritt am wenigsten deutlich und in größter Entfernung von der Fovea im Rechts-Meridian ein. Der Unten-Meridian repräsentiert auch hier die größte erreichte Helligkeit.

Vollkommen einsinnig ist die Änderungstendenz der Helligkeit des **Blau** bis an den äußeren Rand des Gesichtsfeldes. Während die Helligkeitszunahme am Rande der Fovea bei einfacher Vergleichshelligkeit (vergl. Fig. 5 und 6) gering ist, zeigen die Kurven in ihrem weiteren Verlauf bis an die Stellen zwischen 25° und 35° eine sehr bedeutende Helligkeitszunahme, die von da ab geringer wird oder in Konstanz übergeht. Bei Verwendung der fünffachen Vergleichshelligkeit wurde hier als Farben-

filter eine Gelatinekombination gewählt, die ein helleres Blau hindurchließ, als es das bei der Einheit der Vergleichshelligkeit gebrauchte war. Die Resultate sind, wie man aus der Kurve Fig. 11 sieht, dieselben, mit der einzigen Ausnahme, daß die bedeutende Helligkeitssteigerung schon am Rande der Fovea ihren Anfang nimmt. Die Vertikal-Meridiane sind auch im Blau in ihrer Helligkeit vor den Horizontal-Meridianen bevorzugt; sie erreichen maximale Grade der Helligkeit in geringerer Entfernung von der Fovea als die letzteren. Allerdings ist das nicht mehr dieselbe Differenz, die sie (vorzugsweise den Unten-Meridian) bei den anderen Farben von den Horizontal-Meridianen schied. In Bezug auf ihren absoluten Helligkeitswert nehmen im Blau die einen den anderen gegenüber keine Sonderstellung ein. Die Aufhellung für den Links-Meridian schwankt bei verschiedenen Beobachtern zwischen dem 5- und dem 15-fachen, die für den Rechts-Meridian zwischen dem 12- und 20-fachen, für den Unten-Meridian zwischen dem 10- und 20-fachen, für den Oben-Meridian zwischen dem 7- und 17-fachen der Ausgangshelligkeit.

Zusammenfassend ist also über die Helligkeit der Farben in der Peripherie zu sagen:

1. In der parazentralen Zone nimmt bei größter Intensität das Rot und Gelb an Helligkeit ab, das Grün und Blau an Helligkeit zu. Diese Änderung ist im Rot und Blau am stärksten, geringer im Gelb und Grün. Bei herabgeminderter Sättigung verschwindet sie für die beiden zuletzt genannten Farben.

2. Nachdem im Rot und Gelb das Minimum der Helligkeit erreicht ist, tritt deutliche Helligkeitszunahme ein, die nur im Gelb am Rande des Gesichtsfeldes in eine neuerliche Abnahme übergeht. Im Grün und Blau tritt, nachdem die maximale Helligkeit erreicht ist, Konstanz oder Abnahme ein, welch letztere im Grün numerisch größer ist als im Blau.

3. Die für das Rot charakteristische Helligkeitsverminderung und die für das Blau charakteristische Vermehrung erstrecken sich im Links-Meridian weiter peripheriewärts als in den anderen Meridianen. Der Links-Meridian steht im allgemeinen hinter den anderen an Helligkeit zurück. Die maximalen Helligkeiten liegen im Vertikal-Meridian (namentlich im Unten-Meridian).

III. Die Farbenwahrnehmung der Peripherie bei konstanter subjektiver Helligkeit.

Das wichtigste Ergebnis der in den folgenden Tabellen mitgeteilten Versuche über die periphere Farbenempfindung bei Dunkel-Adaptation ist dies, daß dieselbe von der parazentralen Zone an, in der sie ihre größte Sättigung besitzt, durch eine Zone minimaler Sättigung in eine solche von größerer an der äußeren Peripherie übergeht. Über die Veränderungen, die die einzelnen Farben bei peripherer Verrückung erfahren, ist zu sagen:

Das Rot geht durch orangefarbene und gelbliche Töne in einen Ton von minimaler Sättigung über, der alsbald einem gelblichen oder

rötlichen von größerer Sättigung weicht. Es handelt sich also um eine **Dreiteilung der Peripherie,** die durch den genannten Farbton minimaler Sättigung bewirkt wird.

Die Tabellen geben eine Übersicht über diese Änderungen des Farbtons, die den Beobachtungsergebnissen dreier Beobachter entnommen sind, welche zugleich maximale Differenzen in dieser Hinsicht repräsentieren.

Tabelle 3.

	Dr. Titoff (I.)				Peters (II.)				Dr. Lipps (III.)		
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un	Re	Ob	Un
85°	r				g						
75	r				go						
65	ro				go			g (o)			
55	ro			go	o	g		g		fl	
45	o	fl	gw	gw	ow	gw	gw	gw	gw	fl	fl
35	o	g	o	g	fl	fl	gw	fl	fl	fl	fl
25	r	g	r	g	r	fl	fl(g)	go	r	wb	fl
15	—	o	r	o	—	gr	o	r	r	go	g
10	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

Rot bei der Vergleichshelligkeit 1.

Zeichen für diese und die folgenden Tabellen:
r = rot (rötlich), o = orange (orangelich), g = gelb (. . .), gr = grün (. . .), b = blau (. . .), v = violett (. . .), p = purpurn (. . .), w = weiß (. . .),
fl = farblos, go = gelborange, gw = gelbweiß, u. s. w.
g (o) = gelb mit schwachem Orangeeinschlag, u. s. w.
z = ziegelrot, ff = fleischfarben.
(*) = qualitativ von „farblos“ verschieden. Qualität unangebbar.

Tabelle 4.

	Beob. I.				Beob. II.				Beob. III.
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un	Un
85°	r				o				
75	r				o				
65	r				o			o	
55	o			ro	g(w)	g		gw	
45	o	fl	fl	gw	g(w)	w (g)	gw	gw	fl
35	ro	o	ow	r	r	fl	fl	fl	g
25	r	o	r	r	r	w (g)	w (g)	gw	go
15	—	ro	r	r	r	or	g	or	r
10	r	r	r	r	r	r	r	r	r

Rot bei Vergleichshelligkeit 5.

Tabelle 5.

	Beob. I.		Beob. II.	
	Li	Re	Re	Un
85°	r			
75	r			
65	r			g
55	r		g	gw
45	z	ro	gw	fl
35	z	o	fl	gw
25	or	go	gw	o
15	—	r	r	r
10	r	r	r	r

Rot bei Vergleichshelligkeit 2,5.

Diese Dreiteilung, die nicht als eine Abgrenzung dreier scharf unterschiedener übergangsloser Teile aufgefaßt werden darf, ist besonders für den Links-Meridian in den Tabellen 3 bis 5 deutlich ersichtlich.

Weniger deutlich tritt diese Erscheinung in den anderen Meridianen zutage. Seinen Grund hat dies wohl darin, daß die Region der Sättigungsverminderung zwischen 25° und 55° liegt, und diese Breitenkreise für diese Meridiane häufig mit der Grenze des Gesichtsfeldes zusammenfallen.

So erklärt es sich, daß der Oben-Meridian, der in der Regel nicht über 45° hinausreicht, in Tabelle 4, I. z. B. mit „farblos", in Tabelle 3, I. mit „gelb" beginnt, das wohl in der Reihe gelb, orange, rot als der Ton geringster Sättigung bezeichnet werden darf. Für den Beobachter II liegt hier die Stelle geringster Farblosigkeit konstant bei 35 bis 25°.

Es sei ferner noch auf Tabelle 3, III. hingewiesen, die einem Beobachter angehört, der die farbige Wahrnehmung an der äußeren Peripherie für sein Auge fast niemals bestätigte. Dennoch beobachtete er im Oben-Meridian bei 25° eine Qualitätsänderung, die er gegenüber der „Farblos"-Wahrnehmung der vorher untersuchten Netzhautstellen als ein Weiß mit einem Stich ins Bläuliche charakterisierte.

Für den Unten-Meridian, dessen Gesichtsfeld wieder etwas weiter als das des Oben- und Rechts-Meridianes ist, trifft die für den Links-Meridian beschriebene Erscheinung wieder völlig zu. Die Stelle geringster Farbigkeit liegt auch hier zwischen 25 und 45°. Für den Rechts-Meridian gilt, sofern nicht die geringste Sättigung bei 35° oder 25° liegt (was wohl meistens zutrifft), das vom Oben-Meridian Gesagte.

Schließlich sei noch eine Erscheinung erwähnt, die uns noch bei der Besprechung der anderen Farben beschäftigen wird. Ich meine das „Rotsehen" des Beobachters I an Stellen, an denen Beobachter II orangefarbige oder gelbliche Töne sieht, und das Orange-, resp. Gelbsehen an Stellen, die II farblos erscheinen. Will man eine Erklärung hiefür versuchen,

so kann man annehmen, daß den Wahrnehmungen des Beobachters in der ganzen Peripherie wenig gesättigtes Rot beigemischt ist. Diese „periphere Rotsichtigkeit“ fand ich typisch bei der Mehrzahl der von mir untersuchten Vp., wenn auch nicht immer so ausgesprochen wie bei Beobachter I. Dagegen fand ich nur einen Beobachter, der die Angaben des Beobachters III bestätigte, insofern aber eine Abweichung von diesem aufwies, als seine Wahrnehmungen noch deutlicher nach dem kurzwelligen Ende verschoben schienen.

Die Tabellen 6 bis 8 geben die peripheren Farbenwerte des **Gelb** für vier Beobachter, darunter auch die obigen Beobachter I, II und III, wieder. Als allgemeine Charakteristik kann wieder die angeführt werden, daß die äußere und innere Peripherie der mittleren an Farbigkeit überlegen ist. Die Zone geringster Sättigung liegt im Horizontal-Meridian zwischen 35° und 55°, im Vertikal-Meridian reicht sie bisweilen einwärts bis 25°.

Ein partiell Farbenblinder (Rot-Grün-Blinder), dessen Gelbwahrnehmung im Horizontal-Meridian ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, urteilte bei 35° seitlich „grau, wie die Mitte“ (Fixierscheibe), während er zu beiden Seiten dieser Stelle geringster Sättigung von bläulicher Empfindung sprach.

Ferner tritt eine Sättigungsabnahme, begleitet von einem leisen Qualitätswechsel, bei zwei Beobachtern (II und IV) im Links-Meridian 25° seitlich ein, die eine merkwürdige Annäherung an die Farbenqualität darstellt, die man bei Belichtung des blinden Fleckes empfindet. Diese äußert sich nämlich nicht in einem völligen Ausfall der Empfindung, sondern vielmehr in der Wahrnehmung eines schwachen, bläulich fluoreszierenden Tones. Damit soll nicht gesagt sein, daß dieses Licht etwa auf einer Perzeption der Papilla nervi optici beruht. Es ist wahrscheinlich, daß unser Reiz nicht völlig in den Mariotteschen Fleck hineinfiel, daß die ihn umgebenden perzipierenden Ränder die beschriebene Empfindung auslösten. — Es ist ferner nach den vorhin mitgeteilten Tatsachen nicht auffällig, daß die Wahrnehmungen der als „peripher rotsichtig“ bezeichneten Beobachter im allgemeinen etwas nach dem roten Ende des Spektrums verschoben erscheinen,*) ebenso wie die des Beobachters III nach dem blauen. Wohl aber muß bemerkt werden, daß bei den beiden Beobachtern des erstgenannten Typus diese Verschiebung nur im Horizontal-Meridian, nicht aber im Vertikal-Meridian deutlich hervortritt. Dieser Erscheinung konnte ich, da mir zur Zeit, als ich sie beobachtete, andere Vp. dieses Typus nicht mehr zur Verfügung standen, nicht weiter nachgehen. Jedenfalls darf sie nicht, wie ich anfangs glaubte, auf die Verschiedenheiten in der Intensität und der von ihr abhängigen Sättigung der Farben in den verschiedenen Meridianen zurückgeführt werden, denn diese Verschiedenheiten nehmen bei Verwendung der fünffachen Vergleichshelligkeit,

*) Das verwendete Gelb der Na-Linie liegt ohnedies hart an der Grenze des Orange.

wie früher ausgeführt wurde, ab; die Erscheinung bleibt aber auch in diesem Fall dieselbe. Im Rot konnte eine analoge Beobachtung nicht gemacht werden.

Im **Grün** (Tabellen 9 bis 11) fällt zunächst das Überwiegen von gelblichen und rötlichen Tönen in der äußeren Peripherie auf. An der äußersten Grenze des Gesichtsfeldes im Links-Meridian sind Töne, die zwischen dem Gelb und Grün liegen, die Regel. Dieser grünliche Ton verschwindet jedoch bei einer zentripetalen Verrückung des Reizes von 10°, nunmehr tritt das Gelb und bei dem den peripher rotsichtigen Typus repräsentierenden Beobachter ein gelblich-orangelicher bis rötlicher Ton in den Vordergrund. Daß der genannte Typus kein einheitlicher ist, der eine ganz bestimmte Veränderung des Farbensystems der Peripherie aufweist, geht daraus hervor, daß bei einzelnen ihm angehörenden Beobachtern das Gelb keineswegs in der äußeren Peripherie dominiert. Es sind hier vielmehr deutlich bläulich-rötliche (purpurne, violette) Töne, die an der Stelle der gelblichen hervortreten. Als Beispiel diene (Tabelle 5 a) die Wahrnehmung des Grün im Links-Meridian eines dieser Beobachter.

Tabelle 5 a.

	Hr. Libby (V.)
	Links-Meridian
75°	bp
65	fl
55	bp
45	br
35	bp
25	b
15	bwgr
7	bgr

Grün, Vergleichshelligkeit 1.

Tabelle 6.

	Beob. I.				Beob. II.				Beob. IV (Dr. Wirth)				Beob. III.	
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un	Re	Un
85°	go				g				g					
75	go				g				g					
65	go				g				g					
55	gw	fl	fl	fl	gw	gw	g	g	gw	fl		gw	fl	fl
45	gw	gw	fl	gw	fl	fl	fl	wg	fl(b)	fl	fl	fl	fl	fl
35	go	g	gw	g	gw	(g)w	fl	wg	gw	(g)w	fl	g	fl	w(b)
25	go	g	g	g	gw	gw	gw	g	(g)w	go	(g)w	g	fl	w(b)
15	—	go	g	g	—	g	gw	g	—	g	gw	g	w(b)	w(b)
10	go	go	go	g	g	g	g	g	g	g	g	g	gw	g

Gelb, Vergleichshelligkeit 1.

Tabelle 7.

	Beob. I.				Beob. II.			
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un
85°	o				g			
75	o				g			
65	o				gw			gw
55	gw	fl		gw	gw	fl	g	gw
45	gw	gw	fl	gw	gw	fl	g	gw
35	go	fl	gw	w(g)	fl	gw	fl	fl
25	go	g	g	gw	gw	gw	gw	gw
15	—	g	g	go	—	g	gw	gw
10	g(o)	go	g	go	g	g	g	g

Gelb, Vergleichshelligkeit 5.

Tabelle 8.

	Beob. IV.				Beob. II.	
	Li	Re	Ob	Un	Li	Un
85°	off				g	
75	off				gw	
65	og				gw	g
55	g	ff	ffo	ffw	(g) w	g
45	fl	ff	ffo	ffw	gw	fl
35	ff	fl	fl	fl	fl	fl
25	off	go	gw	gw	gw	gw
15	go	go	g	g	g	g
10	go	go	g	g	g	g

Gelb, Vergleichshelligkeit 2,5.

Tabelle 9.

	Beob. I.				Beob. II.				Beob. III.		
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un	Li	Ob	Un
85°	ggr				ggr						
75	go				gw				fl		
65	fl			fl	gw			g	wb		fl
55	grw		fl	gw	fl	fl	fl	gw	fl		fl
45	wb	fl	fl	go	gw	gw	fl	gw	fl	fl	wg
35	bgr	gw	gw	g	gw	wg	grgw	gw	(*)	fl	fl
25	bgr	grw	gw	wb	ggr	wgr	grgw	g	wb	wb	fl
15	—	gr	grw	wb	—	wgr	wgr	wgr	—	wb	fl
10	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	bgr	wbgr	wbgr

Grün, Vergleichshelligkeit 1.

Tabelle 10.

	Beob. I.				Beob. II.			
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un
85°	wgr				ggr			
75	wgo				gw			
65	w			ggr	gw			g
55	w			g	gw	gw	fl	gw
45	w(b)	w(r)	fl	w(b)	fl	fl	gw	gw
35	wgrb	g	wr	wgr	wb	wbgr	gw	wgrg
25	wgr	wgr	go	wgr	wbgr	wbgr	grw	wgrb
15	—	gr	ggr	gr	—	gr	wgrb	wgr
10	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr

Grün, Vergleichshelligkeit 5.

Tabelle 11.

	Beob. I.				Beob. II.			
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un
85°	ggr				ggr			
75	g				gw			
65	gw				gw			gw
55	w(g)			—	w(g)	fl	gw	gw
45	w(b)	fl	fl	—	fl	w(g)	fl	fl
35	wb	wg	wg	—	w(b)	fl	w(g)	w(g)
25	wgr	wgr	wg	—	wbgr	wb	wb	wgr
15	—	wgr	wgr	—	—	wbgr	wgr	wgr
10	gr	gr	gr	—	gr	gr	gr	gr

Grün, Vergleichshelligkeit 2,5.

Die Mannigfaltigkeit in der farbigen Wahrnehmung der Peripherie tritt überhaupt nirgends ausgesprochener zutage als im Grün. Man ist versucht, zu glauben, daß sich hier all die feinen Differenzen offenbaren, die das Farbensystem eines jeden Individuums zu einem singulären machen, das mit dem eines anderen nur Ähnlichkeit besitzt, ihm aber niemals völlig gleich ist. So ist es ferner auffällig, daß der Repräsentant des peripher rotsichtigen Typus, Beobachter I, schon in größerer Entfernung von der Fovea den Übergang in die bläulichen Töne aufweist, die zu der eigentlichen Grünwahrnehmung überleiten, als Beobachter II, der in der entsprechenden Entfernung noch gelbliche Töne sieht. Eine bloße Verschiebung der Farbenwahrnehmung nach der blauen Spektralhälfte würde hier zur Erklärung der Tatsachen nicht ausreichen, wenn man sich nicht die Farbenmannigfaltigkeit als geschlossene Kreislinie vorstellt, in der die Verschiebungen nach dem Rot auf zwei Wegen, durch das Gelb und das Purpur, stattfinden kann.

Jedenfalls läßt die mitgeteilte Tatsache die Ähnlichkeit zwischen den Beobachtungen von I und V (Tabelle 5a) erkennen. Bei Beobachter III dominiert, wie auch schon im Rot und Grün, die farblose Wahrnehmung. Das nämliche zeigt der Beobachter VI (Tabelle 12), dessen periphere Wahrnehmung auch bei Rot und Gelb der des Beobachters III nahesteht.

Tabelle 12.

	Dr. Urban (VI.)	
	Unten	Oben
65°	wgr	
55	fl (gr?)	fl
45	wgr	w (gr)
35	wgr	wgr
25	wgr	wgr
15	gr	wgrb
7	gr	gr

Grün, Vergleichshelligkeit 1.

Wir haben es hier mit einem Fall zu tun, der dem früher erwähnten der deutlichen Rotwahrnehmung des peripher rotsichtigen Beobachters I an der Grenze des Gesichtsfeldes vollkommen analog ist.

Aus den Tabellen geht ferner hervor, daß die Töne blau und grün in der peripheren Wahrnehmung nicht so deutlich geschieden sind wie in der fovealen. Eine präzisere Angabe als „bläulich-grünlich" ist in den meisten Fällen unmöglich. Zur Erklärung dieser Erscheinung genügt meiner Meinung nach der Hinweis auf die der peripheren Perzeption eigentümliche herabgesetzte Sättigung, die durch die Episkotisterverwendung nur noch vermindert wird. Ich habe dieses Verschwimmen der beiden Töne ineinander nur im Grün, nicht im Blau, bei weiterer Herabsetzung der Sättigung und Dunkel-Adaptation im direkten Sehen beobachtet. Außerdem erklärt Beobachter III, er habe eine ähnliche herabgesetzte U. E. seines Auges für blaue und grüne Pigmente von nicht zu großer Differenz bemerkt.

Eine andere Erklärung für die verschwommenen grünlich-bläulichen Töne, die dem direkt gesehenen Grün in der parazentralen Zone entsprechen, wäre in dem Aufhören der elektiven Wirkung des Makulapigments in dieser Gegend zu suchen. Dadurch würde aber das erwähnte zentral beobachtete Verschwimmen unerklärt bleiben.

Im allgemeinen liegt die gesuchte annähernd farblose Zone zwischen 35° und 65°. Es sei noch der Tatsache Erwähnung getan, daß der Oben-Meridian bei den Beobachtern I und II nur spärlich gelbliche oder rötliche Töne aufweist. Hiezu stimmt gut die vorhin (siehe Seite 18) erwähnte Beobachtung, daß bei zwei peripher rotsichtigen Beobachtern die periphere Rottingierung im Vertikal-Meridian fast völlig fehlt.

Tabelle 13.

	Beob. I.				Beob. II.				Beob. III.		
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob
85°	w(g)				w						
75	go				gw				w		
65	ro			gw	gw				w		
55	ro	fl	gw	gw	gw	w(g)	gw	gw	w	w	
45	wo	w(g)	fl	fl	fl	fl	fl	w(g)	w	w	w
35	wb	w(g)	w(o)	fl	fl	w(b)	fl	fl	wb	wb	w
25	wb	w(b)	w(b)	wb	wb	wb	wb	wb	wb	wb	wb
15	—	wb	wb	wb	—	wb	wb	wb	—	w	wb
10	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	wb

Blau, Vergleichshelligkeit 1.

Tabelle 14.

	Beob. I.				Beob. II.			
	Li	Re	Ob	Un	Li	Re	Ob	Un
85°	wb				wb			
75	wb				wg			
65	go			g	wg			wg
55	ro	wr	fl	fl	wg	w(g)	wg	wg
45	fl	go	wg	fl	w(g)	fl	wg	fl
35	w(b)	wg	ro	wb	fl	wb	fl	fl
25	wb	wg	bp	wb	wb	wb	wb	wb
15	—	wb	bv	wb	—	wb	wb	wb
10	b	b	b	b	b	b	b	b

Blau, Vergleichshelligkeit 5.

Die Wahrnehmung des **Blau** (Tabellen 14 und 15) in der äußersten Peripherie des Links-Meridians ist kaum sicher festzustellen. Während bei Verwendung der etwas dunkleren Kombination (siehe Seite 14) die Wahrnehmung in der Regel als ein Weiß mit einer schwachen Gelbtingierung bezeichnet wurde, wurde bei fünffacher Vergleichshelligkeit das etwas hellere Blau entweder direkt als weiß-bläulich oder zumindest weiß-silbern (also weiß, dem eher ein bläulicher als ein gelblicher Farbton beigemischt ist) genannt. Ein wenig gesättigtes Blau, das im Links-Meridian des Beobachters II und eines Beobachters VII (Herr Prof. Dr. Kršnjavi)

untersucht wurde, sah konstant weiß-gelblich aus. Eine dem Blausehen an der äußersten Peripherie (85°, in einzelnen Fällen auch noch 75°) des Links-Meridians analoge Erscheinung war das Grünsehen im Grün an derselben Stelle. Wenn wir von diesem nur an dieser Stelle auftretenden Ton absehen, müssen wir die Wahrnehmung der äußeren Peripherie bis zur Zone der geringsten Farbigkeit als gelblich (bezw. orangelich für den rotsichtigen Typus) bezeichnen. Diese Farbtöne treten wieder am deutlichsten in dem nach dem früher Gesagten für die Farbenwahrnehmung günstigsten Meridian, dem Links-Meridian, hervor; hingegen treten sie im Rechts- und Unten-Meridian auffallend zurück. Die Zone geringster Farbigkeit liegt auch hier wieder zwischen 35 und 55°. Für Beobachter II (Tabelle 15) ist sie in zwei Meridianen (U. und O.) noch bei 25° festzustellen. Es ist hiebei zu bedenken, daß die Helligkeit und der Mangel der Sättigung für das periphere Blau so groß sind, daß die genaue Bezeichnung der Stelle, an der die Blauwahrnehmung anhebt, unmöglich ist. Andrerseits ist es aus dem früher Gesagten leicht erklärlich, daß für den Beobachter III, der das Blau an der ganzen äußeren und mittleren Peripherie farblos sieht, eine Zone der geringsten Farbigkeit nicht ausfindig gemacht werden kann, sofern man nicht das ganze ausgedehnte, farblose Gebiet mit diesem Namen belegen will. Beobachter VI, dessen Wahrnehmung der des Beobachters III wie vorhin (Seite 22) dargelegt wurde, sehr nahe steht, zeigte wie früher schon deutlichere Farbennuancierungen an der Peripherie und um 45° herum die Stelle der geringsten farbigen Sättigung. Prinzipiell weicht also auch dieser Typus der Wahrnehmung nicht von den anderen beschriebenen ab.

Von einer Untersuchung der Wahrnehmung des Grün und Blau an der Peripherie ausgehend, wäre es möglich, die Zone der geringsten Farbigkeit als Übergangszone von der Gelbtingierung der äußeren Peripherie zur Blau-, respektive Grünwahrnehmung aufzufassen. Daß sie aber unabhängig von dieser lediglich durch die Stetigkeit der Übergänge bedingten Wahrnehmung vorhanden ist, zeigen die Aussagen über die periphere Wahrnehmung des Rot und Gelb.

Die Untersuchung der Farbenwahrnehmung der Peripherie bei Dunkel-Adaptation hat als wichtigstes Resultat dieses ergeben, daß zwischen der immerhin noch in gewissem Sinne als farbenempfindlich zu bezeichnenden äußeren Peripherie und der farbentüchtigen parazentralen Region der Retina ein Gebiet liegt, in dem die farblose Komponente der Empfindung dominierend wird. Die folgende Tabelle gibt die Lage desselben für die Beobachter I und II (und den Beobachter IV im Gelb) an. Das Sternchen (*) hinter der Zahl hat hiebei die Bedeutung, daß an der betreffenden Stelle noch deutlich eine nur im Verhältnis zur Umgebung ungesättigte Farbenqualität perzipiert wurde.

Tabelle 15.

		Rot		Gelb			Grün		Blau	
		Beob. I.	Beob. II.	Beob. I.	Beob. II.	Beob. IV.	Beob. I.	Beob. II.	Beob. I.	Beob. II.
Vgl.-Hell. 1.	Li	35*—45*	35	45*—55*	45	45	65	55	45*?	35—45
	Re	45	25—35	55	45	45—55	45	55	55	45
	Ob	45*	25(-35)	45—55	35—45	35—45	45—55	45—55	45	35—45
	Un	45*	35	55	35*—45*	45	65	35*—55*	35—45	35
Vgl.-Hell. 5.	Li	45*—55*	45*—55*	45*—55*	35	—	55—65	45	45	35
	Re	45	35	35 und 55	45—55	—	45*	45	?	45
	Ob	45	35	45	35	—	45	55	55	35
	Un	45*	35	35*	35	—	45*	45*—55*	45—55	35
Vgl.-Hell. 2,5.	Li	35*—45*	—	—	35	45	45*—55*	45	—	—
	Re	35 (?)	35	—	—	35	45	35 und 55	—	—
	Ob	—	—	—	—	35	45	45	—	—
	Un	—	45	—	35	35	—	45	—	—

Mittlere Lage der Zone der geringsten Farbigkeit.

Aus dieser Übersicht geht hervor, daß die Zone der geringsten Sättigung in der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle zwischen 35° und 55° liegt. Und zwar liegt sie für das Rot der Stelle des deutlichen Sehens am nächsten. Im Gelb hat sie schon eine kleine periphere Verrückung erfahren. Eine ähnliche Differenz wie zwischen Rot und Gelb scheint zwischen dem Blau und Grün zu bestehen. Doch ist es möglich, daß die letztere nur durch den größeren Raum bedingt ist, innerhalb dessen hier die gefundenen Werte schwanken. Hiebei muß wohl nicht ausdrücklich betont werden, daß die eine Zahl, die in den meisten Fällen die Lage der Zone in der Tabelle angibt, nicht etwa besagen soll, daß hier diese Zone punktuell geworden, das heißt zu einer einzigen Stelle minimaler Farbigkeit zusammengeschrumpft ist. Was früher über die Stetigkeit in den Übergängen gesagt wurde, gilt auch hier. Die einzelne Zahl in den Tabellen repräsentiert dann lediglich die Stelle, an der die Herabminderung der Farbigkeit ihren Höhepunkt erreicht hat, die also in einem Koordinatenkreuz, in dem die größere Entfernung von der Abszisse die größere Sättigung vorstellt, durch das Zusammenfallen des betreffenden Kurvenpunktes mit einem Punkt der Abszissenachse charakterisiert wäre. Ferner besteht ein Unterschied in der Lage dieser Zone bei den beiden Beobachtern, für die die angeführten Zahlenwerte gelten. Sie liegt nämlich für den Beobachter I etwas weiter peripheriewärts. Für die anderen Beobachter, bei denen ihre Lage festgestellt werden konnte, gelten im allgemeinen ebenfalls die für diese beiden bestimmten Grenzen. Einen deutlichen Einfluß der verschieden großen

Vergleichshelligkeit (und der dadurch bedingten veränderten Sättigung der verwendeten Farben) konnte ich nicht konstatieren.

Wenn nun auch die Zone der geringsten Farbigkeit in unseren Versuchen unzweifelhaft festgestellt wurde, könnte gegen eine Verallgemeinerung dieses Resultates der Einwand erhoben werden, daß es sich hier lediglich um eine Erscheinung handelt, die durch die verwendete Methode der Helligkeitsausgleichung bedingt ist. Die Entscheidung über die Giltigkeit oder Ungiltigkeit dieses Einwands hängt aber von der Beantwortung der Frage ab: Fallen die Zonen geringster Farbigkeit mit Stellen maximaler Helligkeit zusammen? Wäre nämlich dies der Fall, so könnte die Abnahme der Sättigung durch die relative Helligkeitszunahme erklärt werden, und die gefundene Gesetzmäßigkeit wäre lediglich nur durch die angewendete Methode bedingt. Ein Blick auf die Kurventafeln lehrt aber, daß dies nicht zutrifft. Ausgesprochene Helligkeitszunahmen, die in die angegebenen Grenzen fallen, sind zwar keineswegs selten, diese Änderungen sind dann aber nicht in diesen Grenzen lokalisiert, sondern erstrecken sich über sie hinaus in die äußere Peripherie. Daneben kommen auch Fälle vor, in denen die Änderungstendenz im Gebiet der Zone der geringsten Sättigung eine entgegengesetzte ist. So zeigen Fig. 2, bei 35° Helligkeitsabnahme für den Links-Meridian, Fig. 8 bei 35° bis 55° für den Links-Meridian und außerdem noch eine Reihe von Beispielen Konstanz der Helligkeiten der Stellen geringster Sättigung sowohl, als auch der von diesen fovealwärts und peripher gelegenen Stellen. (Vergleiche Fig. 1 Li, Fig. 10 O., Fig. 2 U.)

In Fig. 3 U. z. B. liegt die Stelle minimaler Sättigung wohl in einem Maximum der Helligkeit, dasselbe erstreckt sich aber über diese Stelle peripheriewärts. Die Blaukurven, die durch ihren steilen Verlauf große Helligkeitszunahmen darstellen, zeigen nirgends im Gebiete der geringsten Farbigkeit Tendenzen zu weiterer, größerer Helligkeitssteigerung. Daraus geht wohl zur Genüge hervor, daß die Zurückführung der Erscheinung der geringsten Sättigung in der mittleren Peripherie auf maximale Helligkeit in dieser Region und die damit verbundene größere Episkotisterverdunklung unmöglich ist.

Die zweite durch diese Versuche festgestellte Tatsache ist die, daß es innerhalb der Grenzen, die das sogenannte normale Farbensystem von den anormalen scheiden, individuelle Differenzen der peripheren Farbenwahrnehmung gibt, die die Unterscheidung gewisser Typen gestatten. Unsere Versuche ergaben deutlich zwei extreme Typen der Beobachtung, zwischen denen der dritte Typus die Mitte hielt. Der erste zeigte rötliche Tingierung der peripheren Wahrnehmungen, der zweite eine Verrückung derselben ins Farblose, resp. Grünliche. Eine endgiltige Klassifizierung dieser Erscheinung könnte natürlich (sofern sie überhaupt möglich ist) nur eine statistische Massenuntersuchung zustande bringen. Aus meinen und, wie ich glaube, auch aus Hellpachs Versuchen geht hervor, daß der

„peripher rotsichtige“ Typus bei weitem der häufigste ist. — Drittens hat diese Untersuchung ergeben, daß die äußere Peripherie des dunkeladaptierten Auges **vorwiegend** gelbliche und rötliche Töne perzipiert. Nur am äußersten Rand des Gesichtsfeldes im Links-Meridian bei 85° konnten im Grün und Blau grünliche und bläuliche Töne wahrgenommen werden. Wegen der vorhin erwähnten Fehlerquellen sind aber gerade diese Resultate als sehr wenig sicher zu betrachten. Erst nachdem die Zone der geringsten Farbigkeit nach dem Zentrum hin durchschritten ist, beginnt für alle Farben das Ansteigen des im direkten Sehen wahrgenommenen Farbtones. Im Gelb ist derselbe wegen der eben erwähnten Tatsache der bevorzugten Gelbperzeption schon vor dieser Zone der dominierende, im Rot bei dem erwähnten rotsichtigen Typus und im allgemeinen im Links-Meridian.

Endlich muß zusammenfassend erwähnt werden, daß die Farbentüchtigkeit der untersuchten Meridiane eine verschiedene ist. Das Maximum derselben repräsentiert zweifellos der Links-Meridian. Ihm zunächst steht der Unten-Meridian. Der Rechts-Meridian hat wieder vor dem Oben-Meridian, das ist also dem Meridian der geringsten Farbentüchtigkeit, den Vorzug.

Schließlich sei noch auf die eigentümlichen Veränderungen im Verlauf der Helligkeitskurven hingewiesen, die bei Verwendung der größeren Vergleichshelligkeit und der dadurch bewirkten größeren Sättigung der Farben eintreten. Es wurde schon erwähnt, daß sich hiebei die Grenzen der Wahrnehmung der Farbe als solcher peripheriewärts weiter ausdehnen. Vergleichen wir zum Beispiel die Rotkurven eines und desselben Beobachters (I) bei den beiden Vergleichshelligkeiten in Fig. 1 und Fig. 8, so sehen wir, daß die spezifische Eigenschaft des Rot an der Peripherie merklich dunkler zu werden, sich bei fünffacher Vergleichshelligkeit weiter peripheriewärts erstreckt, als bei einfacher. Die Helligkeitssteigerung, die mit dem Verschwinden des (gesättigten) Rottones (siehe **Tabelle** 3 und 4) einsetzt, tritt in jenem Falle in größerer Entfernung vom Zentrum ein als in diesem.

Ferner zeigen die Gelbkurven, wie bereits erwähnt (Fig. 3 und Fig. 9), daß das Gelb **bei gesteigerter Sättigung** in der parazentralen Zone der Helligkeitsänderung des Rot nahesteht, das heißt deutliche Helligkeitsabnahme aufweist. Bei der einfachen Vergleichshelligkeit tritt dies hingegen nur in einzelnen Fällen und dann nur in geringem Maße ein. Wir sind also berechtigt, anzunehmen, daß hier die Sättigungsverminderung von einer Steigerung der Helligkeit begleitet ist. Im übrigen ist auch hier die oben erwähnte Tendenz der peripheren Verschiebung der Stelle, an der die Kurve deutlich fällt, ersichtlich. Im weiteren zeigen die meisten Kurven, die sich über 65° oder 75° hinaus erstrecken, eine Helligkeitsverminderung, die im Gelb bei dem Beobachter II besonders deutlich hervortritt (Tabellen 6 bis 8).

Die Grünkurven zeigen bei Verwendung der fünffachen Vergleichshelligkeit neben der einfachen ein dem Gelb entgegengesetztes Verhalten. Während bei einfacher Vergleichshelligkeit geringe Helligkeitsabnahmen in der unmittelbaren Umgebung der Fovea die Regel sind, auf die erst die für die periphere Grünhelligkeit charakteristische Helligkeitszunahme folgt, setzt diese bei vergrößerter Sättigung bereits am fovealen Ende der Peripherie ein. Im allgemeinen sind aber im Grün die Helligkeitsdifferenzen zwischen Netzhautzentrum und Peripherie die geringsten. Der geradlinige Verlauf der Kurven in der ganzen mittleren Peripherie deutet hier auf Konstanz der Helligkeitswerte in derselben hin. Die Helligkeitsabnahme in der mittleren und äußeren Peripherie setzt an Stellen ein, an denen entweder der Grünton der farblosen Helligkeit weicht oder die gelblichen Töne deutlich hervortreten.

Die zuerst verwendete Blau-Kombination unterscheidet sich von der bei fünffacher Vergleichshelligkeit verwendeten dadurch, daß bei ihr die für die Blauwahrnehmung der Peripherie charakteristische bedeutende Helligkeitssteigerung erst zwischen 10° und 15° seitlich eintritt, während sie im zweiten Fall schon bei 8° bis 10° peripher ihr Maximum erreicht hat. Da das zweite verwendete Blau gesättigter erschien, müssen wir annehmen, daß das Blau, je gesättigter desto nachhaltiger in seiner Helligkeit bei peripherer Verrückung gesteigert wird. Andererseits wird dann das Maximum nicht nur früher erreicht, sondern auch (wie man den Tabellen 14 und 15 entnehmen kann) der Übergang in farblose Helligkeit und andersfarbige Töne früher bewerkstelligt. Dieser Übergang äußert sich in einem plötzlichen Aufhören der Helligkeitszunahme, die Kurve verläuft weiter entweder parallel der Abszissenachse oder wendet sich nach aufwärts zu Lagen geringerer Helligkeit.

Die größere Sättigung der verwendeten Farbe scheint also im Rot und Gelb von einer deutlicheren, sich weiter in die Peripherie erstreckenden Helligkeitsabnahme begleitet zu sein, im Grün und Blau findet dann das umgekehrte Verhältnis statt: die Helligkeitszunahme tritt deutlicher und in geringerer Entfernung von der Fovea auf. Dabei muß es auf Grund dieser Versuche dahingestellt bleiben, ob es sich hier um eine Abhängigkeitsbeziehung zwischen Helligkeit und Farbe oder um eine solche beider Faktoren von einem dritten handelt. Ist aber das erstere der Fall, was offenbar nach Analogie unserer sonstigen Erfahrungen die naheliegendste Voraussetzung ist, so widersprechen diese Versuche der Annahme einer spezifischen Helligkeit der Farben mindestens für die Peripherie. Denn bestände diese Annahme zu Recht, so müßten alle Helligkeitskurven des Rot und des Gelb bei fünffacher Vergleichshelligkeit deutlichere Helligkeitszunahmen zeigen als die Kurven dieser Farben bei einfacher Vergleichshelligkeit, und umgekehrt Grün und Blau geringere Zunahmen. Denn Rot und Gelb müßten nach dieser Hypothese zur farb-

losen Komponente hinzutretend aufhellende Wirkung haben, Grün und Blau verdunkelnde. Gerade das umgekehrte Verhältnis ergeben aber unsere Versuche.

IV. Literatur.

Zur Theorie des peripheren Farbensehens.

Die Frage nach der Farbenwahrnehmung der Peripherie, die hier von neuem untersucht wurde, hat in einer Reihe von Arbeiten eine verschiedene Beantwortung gefunden. Dies ist, wie bereits ausgeführt, wohl in erster Linie darauf zurückzuführen, daß die Autoren verschiedene Methoden anwandten und ihre Versuche unter Bedingungen ausführten, die durchaus verschieden waren. Daraus folgt nun, daß es unmöglich ist, vom Standpunkt der auf einem Wege gewonnenen Resultate die auf andere Weise gewonnenen zu kritisieren. Den Bedingungen dieser Untersuchung kamen die der erwähnten Versuche Hellpachs am nächsten; sie unterschieden sich nur dadurch, daß sie der Verwendung einer einheitlichen subjektiven Helligkeit ermangelten. Das wichtigste positive Ergebnis der Versuche Hellpachs war nun die Einteilung der Retina in verschiedene Zonen, die eine und dieselbe Farbe verschieden perzipieren. Dieser Zonen gibt es für das Rot, Gelb und Grün vier, für das Blau nur drei. Die am weitesten peripher gelegenen Teile der Netzhaut sollen schwach gegenfarbige Empfindung auslösen (wenn man, was Hellpach tut, Bläulich gleichzeitig als Gegenfarbe zu Rot, Orange und Gelb überhaupt betrachten darf!). Festzuhalten ist an diesem Resultate auf Grund meiner Versuche zunächst nur, **daß die äußere Peripherie der dunkel adaptierten Netzhaut weder absolut für Farben unempfindlich ist, noch auch das Minimum an Farbenempfindung repräsentiert.** Hingegen geht aus meinen Versuchen hervor, daß die Gegenfarbigkeit für Rot und Gelb unter der Voraussetzung der Ausgleichung der subjektiven Helligkeit nicht zutrifft, daß hier vielmehr die Aussagen, individuell verschieden, zwischen Rot, Orange und Gelb und zwischen Orange und Gelb schwanken. Komplizierter sind die Verhältnisse im Grün und Blau. Hier habe ich zwar im Links-Meridian an der äußersten Grenze des Gesichtsfeldes eine Rückannäherung zu dem Ausgangsfarbton beobachtet, im allgemeinen kann man aber sagen, daß hier Blau und Grün als gelbliche, orangeliche, sogar schwach rötliche Töne perzipiert werden, je nach der Eigenart des betreffenden Beobachters. Hier könnte also mit einer gewissen Berechtigung von einer gegenfarbigen Empfindung gesprochen werden. Jedenfalls sind dann die rötlichen Töne nicht die dem Grün spezifisch gegenfarbigen, sondern treffen bei dem am häufigsten vorkommenden Beobachter-Typus für beide Farben (Grün und Blau) zu, ebenso die gelblichen Töne. Die äußere Peripherie muß daher nach meinen Versuchen als eminent gelb-, resp. gelb-rot-empfindlich bezeichnet werden.

Was Hellpach ferner als farblose Zone bezeichnet, stimmt wohl im wesentlichen mit der von mir beschriebenen Zone geringster Sättigung

oder Farbigkeit überein. Von absoluter Farblosigkeit kann aber dabei schon deshalb nicht gesprochen werden, weil es sich hier in einzelnen Fällen nur um einen Übergang von Farbentönen, die höhere Sättigungsstufen repräsentieren, in solche geringerer Sättigung (z. B. bei Rot im Links-Meridian) handelt. Ebensowenig ist dann der von Hellpach gebrauchte Ausdruck „weiß" zulässig, da die farblosen Wahrnehmungen in dieser Region nicht helligkeitsgleich sind, sondern zwischen strahlendem Weiß und schmutzigem Dunkelgrau variieren. Die von Hellpach sogenannten **nebenfarbigen** Zonen sind nun anscheinend nichts anderes, als die von mehreren Autoren erwähnten Übergangstöne von der betreffenden Farbenwahrnehmung ins Farblose. Für Rot sind das in allen Fällen Orangetöne, für Grün, je nach der Lage verschieden, gelbliche oder bläuliche (in meinen Versuchen waren es bläuliche, das von mir verwendete Grün lag aber näher dem Grünblau als das Hellpachsche). Auffällig bleibt dann nur das Orange als „Nebenfarbe" für das Gelb. Auf Grund meiner Versuche kann ich diese Beobachtung nur für die „peripher rotsichtigen" Beobachter, nicht aber für mein eigenes Auge bestätigen. Ähnliches berichtet übrigens schon A. E. Fick in seinen „Studien über Licht- und Farbenempfindung".*) Er findet, daß zwei gelbe Punkte bei Dunkel-Adaptation mit exzentrischen Netzhautstellen gesehen weiß mit einem Stich ins Rötliche, mit zentrischen Netzhautstellen gesehen, orange erscheinen. Die anderen, von Hellpach und auch mir beobachteten Nebenfarben sind von anderen Beobachtern ebenfalls bei Hell-Adaptation und Verwendung von Pigmentfarben beobachtet worden.**)

Eine ausführlichere theoretische Verarbeitung der hier mitgeteilten Versuche behalte ich mir vor, im Zusammenhang mit noch auszuführenden Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Sättigung und Farbenton zu geben. Hervorgehoben sei nur, daß die beiden zur Zeit verbreitetsten Theorien der Farbenwahrnehmung der Peripherie, die Heringsche, die von der Gegenfarbentheorie ausgehend das Farbensystem der Peripherie dem zentralen gegenüber als um ein oder beide Gegenfarbenpaare reduziert betrachtet, und die von Kriessche Stäbchentheorie in ihren augenblicklichen Formen zur Erklärung der mitgeteilten Beobachtungen nicht genügen. Während nämlich der Gegenfarbentheorie in den typischen Differenzen in der Beobachtung (insbesondere dem Rotsehen der „peripher Rotsichtigen") und dem Überwiegen der rötlichen Töne jenseits der Zone der geringsten Farbigkeit Erklärungsschwierigkeiten erwachsen, widerspricht der zweiten, anatomischen Theorie die lokale Differenziertheit der peripheren Empfindungen, der ein nach dem gegenwärtigen Stand unserer histologischen Kenntnisse undifferenziertes Substrat, die Stäbchenschicht der Retina, gegenübersteht.

---

*) A. E. Fick, Pflügers Archiv, Band 43, Seite 483.

**) So z. B. Hess, l. c. Seite 5 ff



VITA.

Ich, **Wilhelm Peters,** bin am 11. November 1880 in Wien geboren, habe daselbst Volksschule und Gymnasium absolviert und hierauf an den Universitäten in Zürich, Wien und Leipzig Philosophie und Naturwissenschaften, vom S.-S. 1902 an auch medizinische Disziplinen studiert.

Ich habe in Leipzig Vorlesungen, Seminarübungen und Practica bei folgenden Dozenten der philosophischen Fakultät besucht: Barth, Beckmann, Des Coudres, Heinze, Störring, Wiener, Wundt. Dem psychologischen Institut gehörte ich durch fünf Semester als Mitglied an.

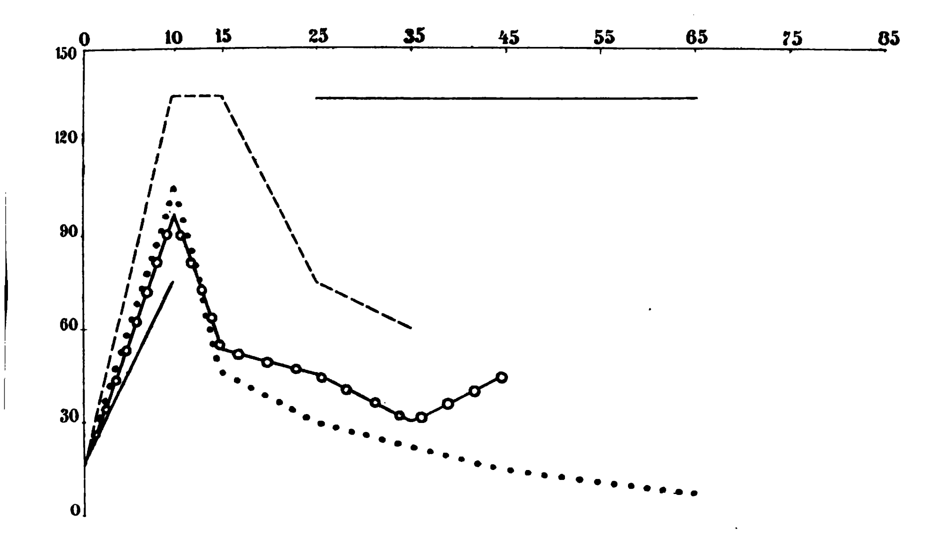


Fig. 1. Beob. I. (Dr. Titoff.) Rot (1).

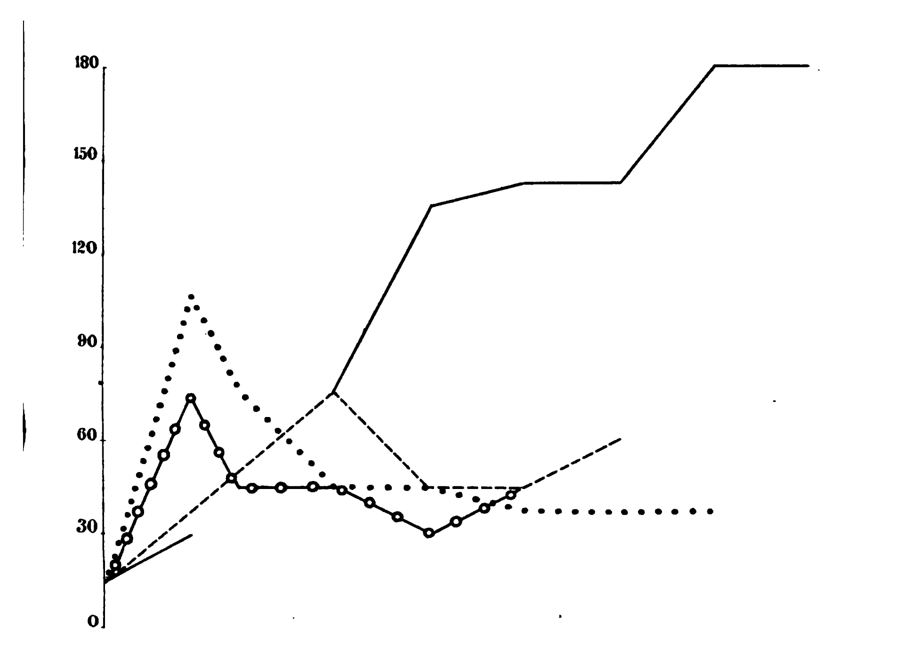


Fig. 2. Beob. II. (Peters.) Rot (1).


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF

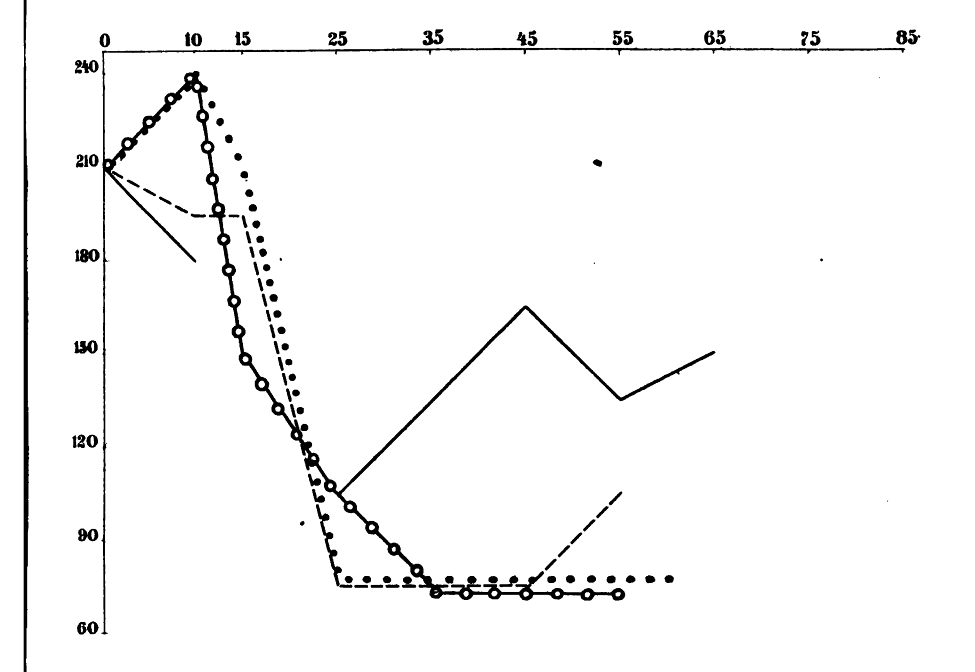


Fig. 3. Beob. I. Gelb (1).

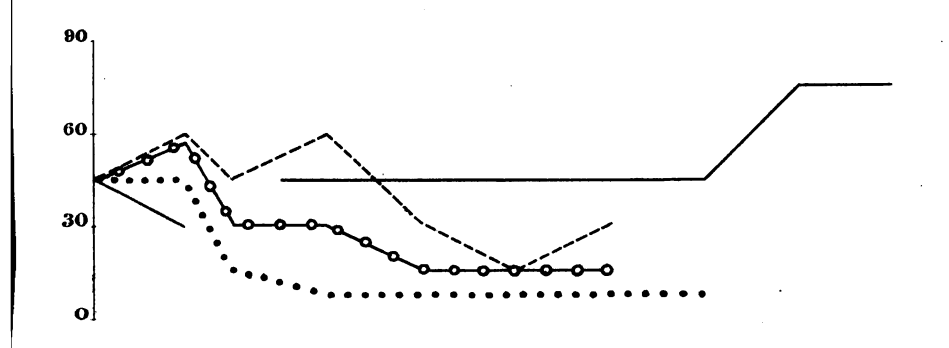


Fig. 4. Beob. I. Grün (1).



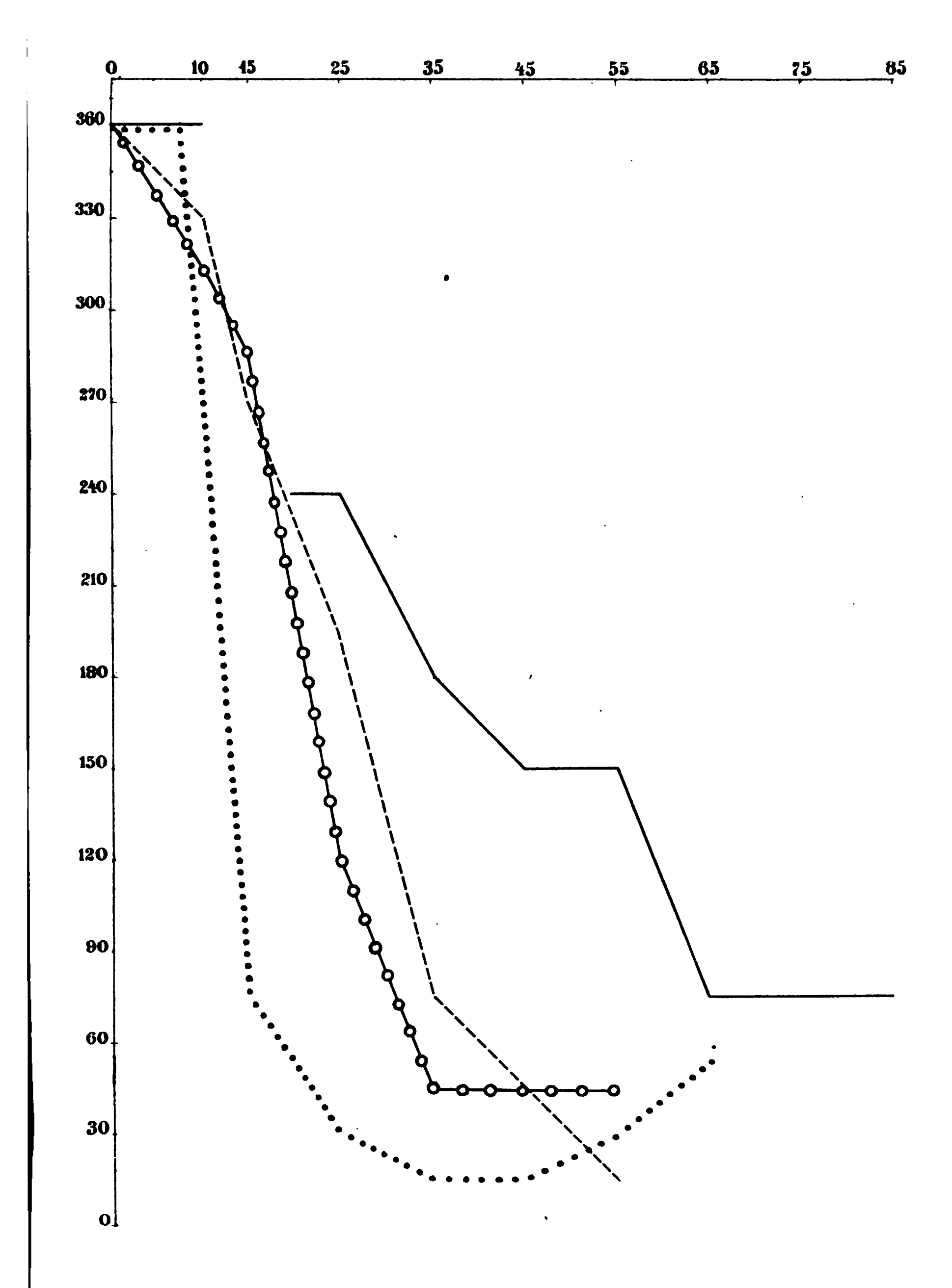


Fig. 5. Beob. I. Blau (1).



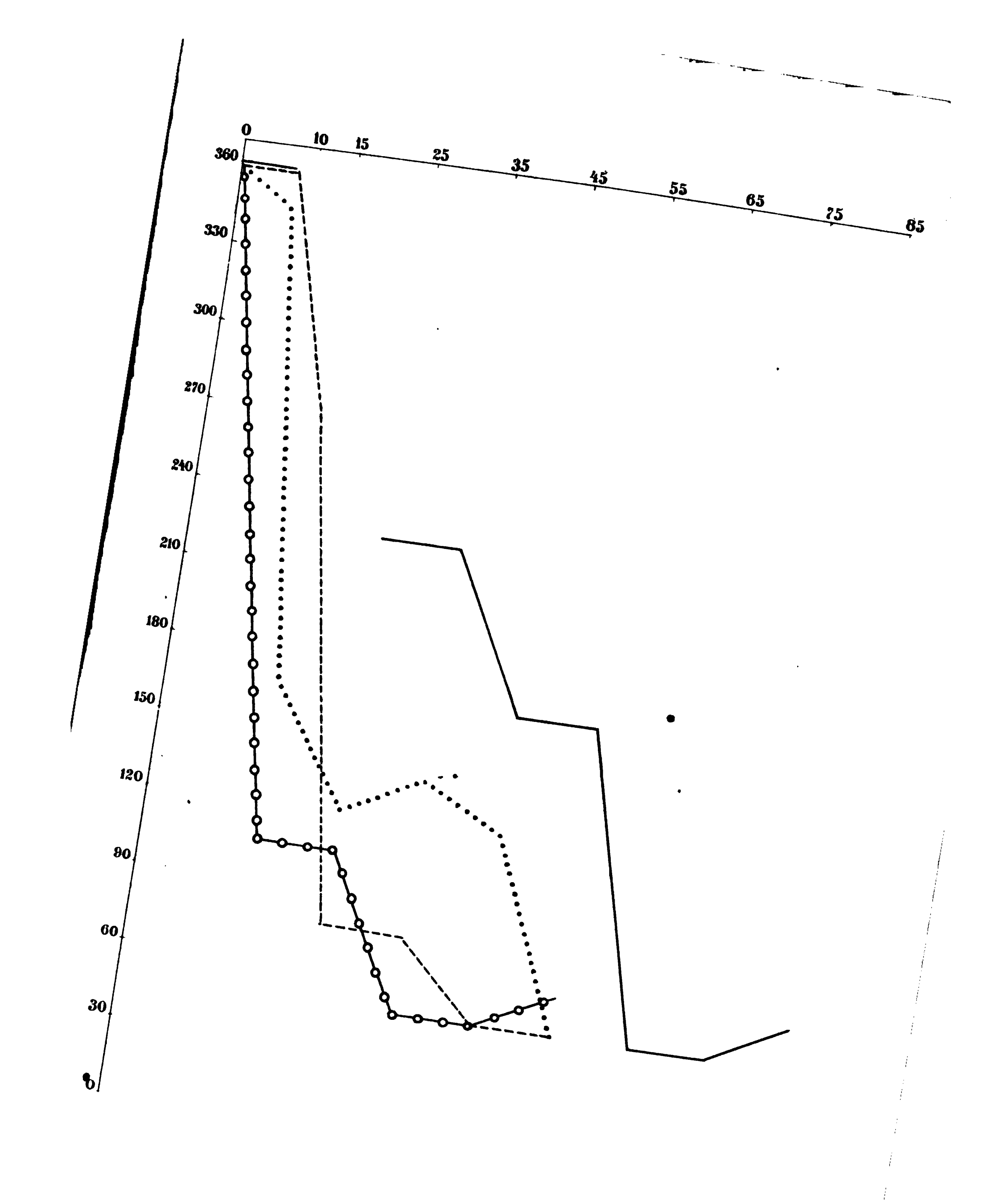


Fig. 6. Beob. II. Blau (1).



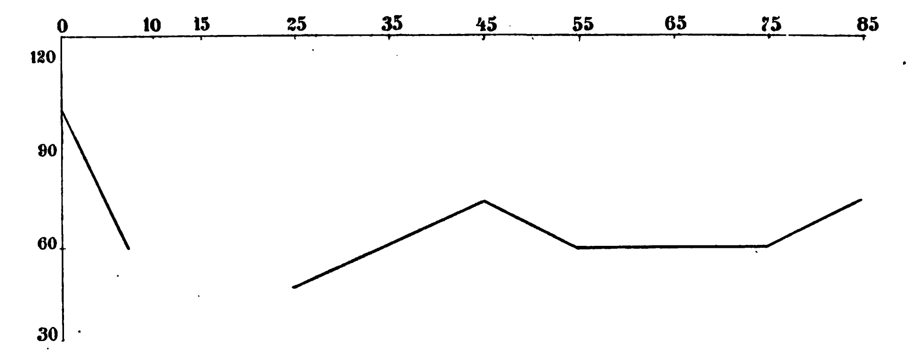
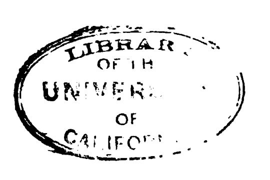


Fig. 7. Beob. I. Grün (2, 5).

Fig. 8. Beob. I. Rot (5).



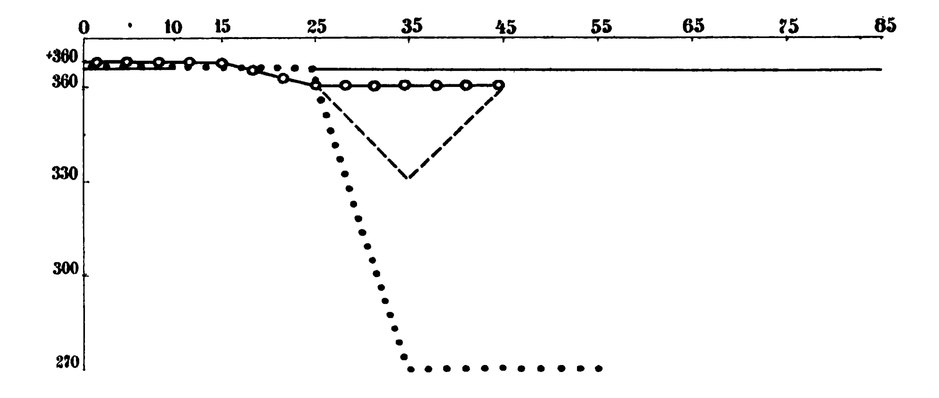


Fig. 9. Beob. I. Gelb (5).

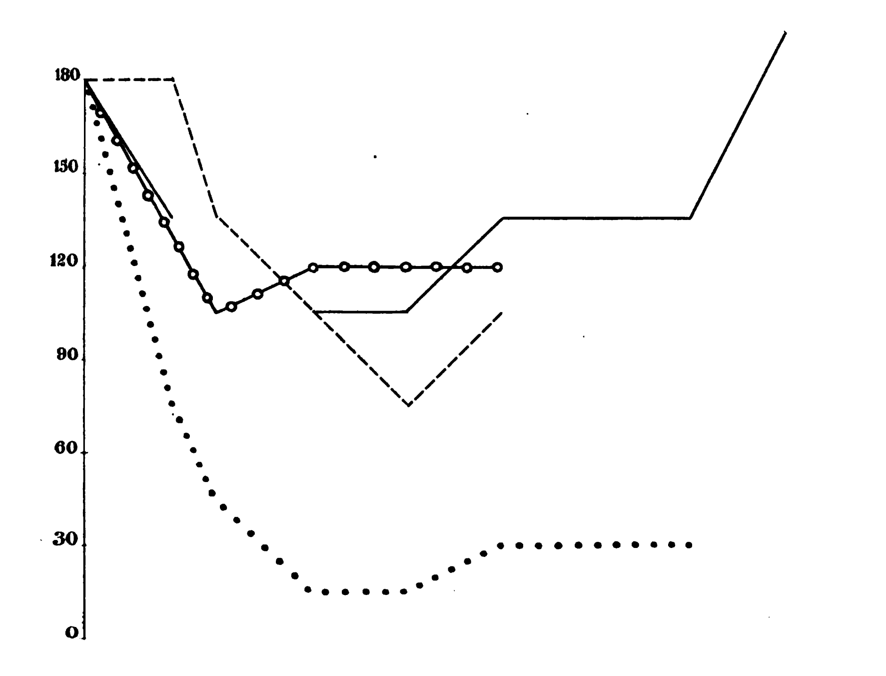


Fig. 10. Beob. I. Grün (5).



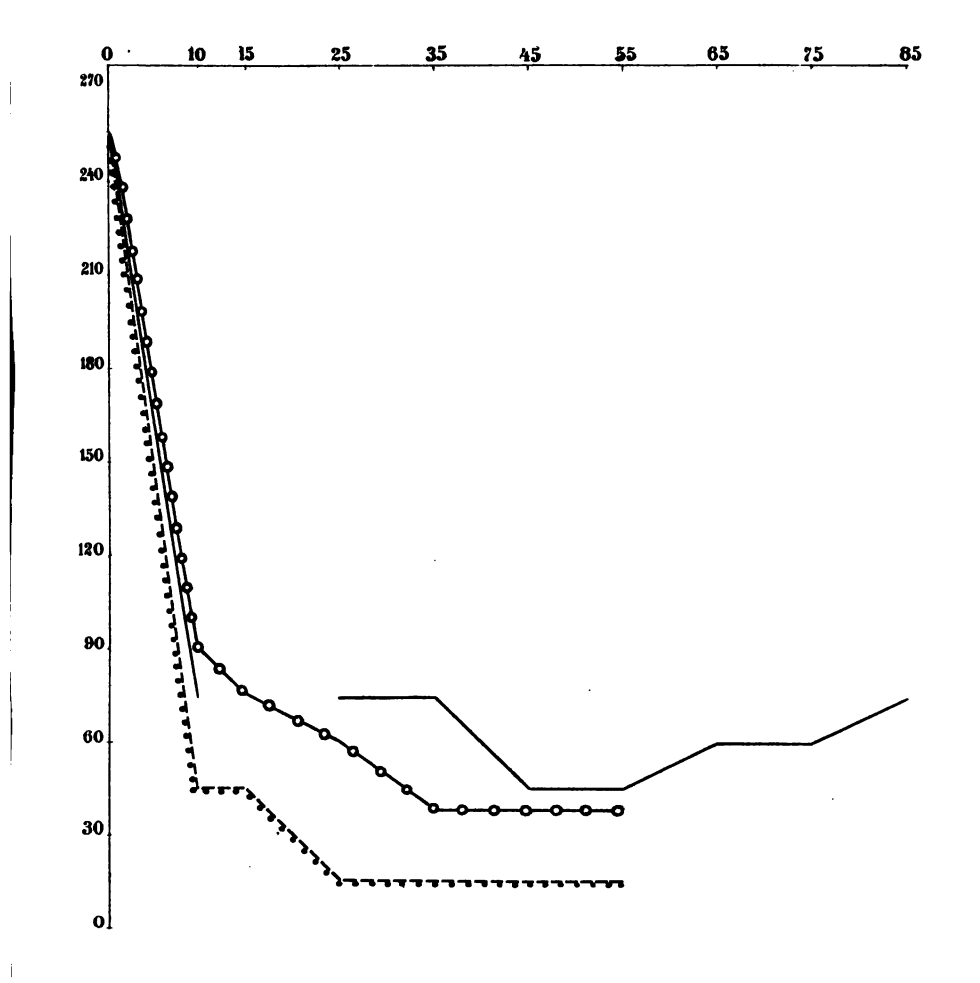
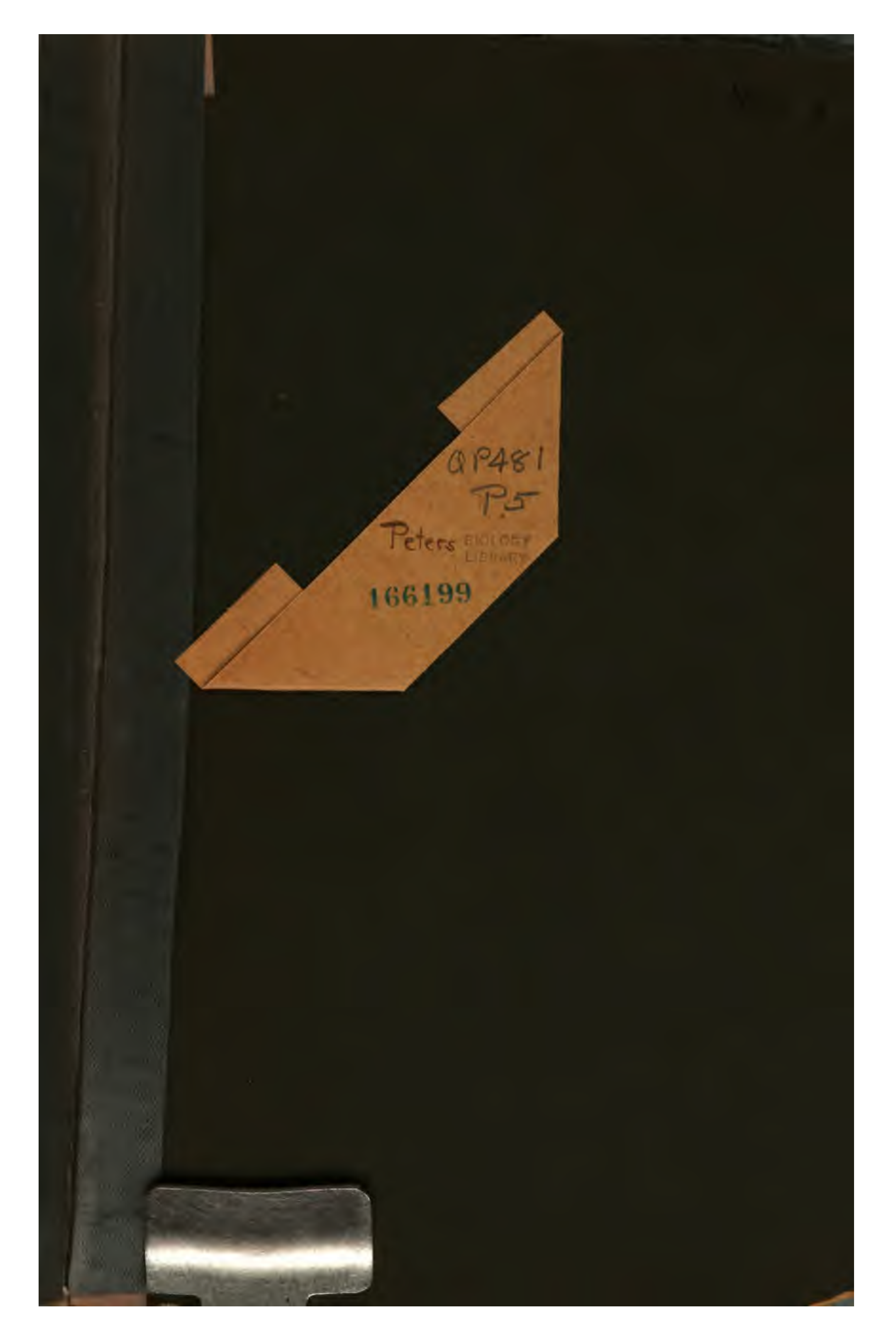


Fig. 11. Beob. I. Blau (5).




QP481
P.5
Peters BIOLOGY LIBRARY
166199

